

Unaprjeđenje održivosti zgradarstva kroz izbor materijala za profile prozora i vrata

Skorin, Frane

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:295947>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Frane Skorin

Zagreb, 2022. god.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Irena Žmak, izv. prof.

Student:

Frane Skorin

Zagreb, 2022. god.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici dr. sc. Ireni Žmak na prihvaćanju prijedloga teme završnog rada te na razumijevanju, stručnoj pomoći i savjetima tijekom njegove izrade.

Također, zahvaljujem obitelji i svim prijateljima koji su me pratili i pomagali mi u mojem dosadašnjem tijeku studiranja.

Frane Skorin



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 22 - | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Frane Skorin** JMBAG: **0035216988**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Unaprjeđenje održivosti zgradarstva kroz izbor materijala za profile prozora i vrata**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Improving sustainability of buildings through materials selection for window and door profiles**

Opis zadatka:

Održivi razvoj podrazumijeva razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe. Jedan od doprinosa održivom razvoju je smanjenje potrošnje energije, a procjenjuje se da je sektor zgradarstva odgovoran za više od 40 % ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj. Provedbom mjera za unaprjeđenje energetske učinkovitosti zgrada, kao što je zamjena vanjske stolarije, sprečava se neracionalna potrošnja energije i smanjuju troškovi održavanja te poboljšava kvaliteta boravka u zatvorenom prostoru.

U okviru ovog završnog rada potrebno je istražiti pojam zelenog zgradarstva, održivog razvoja, Program Ujedinjenih naroda o održivom razvoju do 2030. godine (tzv. Agenda 2030) te istaknuti i objasniti Ciljeve održivog razvoja koji su povezani sa zelenim zgradarstvom. Na primjeru izbora materijala za profile prozora i vrata potrebno je proučiti mogućnosti povećanja održivosti u zgradarstvu.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivena pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. - 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. - 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

| | |
|---|------|
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| POPIS KRATICA | VI |
| SAŽETAK..... | VII |
| SUMMARY | VIII |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. ZELENO ZGRADARSTVO | 3 |
| 2.1. Što je zelena zgrada?..... | 3 |
| 2.2. Zeleno zgradarstvo u promicanju Ciljeva održivog razvoja | 3 |
| 2.2.1. Zdravlje i blagostanje..... | 4 |
| 2.2.1.1. Poboljšana rasvjeta..... | 4 |
| 2.2.1.2. Kvaliteta zraka | 4 |
| 2.2.2. Pristupačna i čista energija..... | 5 |
| 2.2.3. Rad i ekonomski rast..... | 6 |
| 2.2.4. Industrija, inovacije i infrastruktura..... | 6 |
| 2.2.5. Održivi gradovi i zajednice | 7 |
| 2.2.6. Odgovorna potrošnja i proizvodnja..... | 8 |
| 2.2.7. Klimatske promjene | 10 |
| 2.2.8. Život na Zemlji..... | 12 |
| 2.2.8.1. Pošumljavanje | 13 |
| 2.2.8.2. Ekološki osviješteno korištenje vodnih resursa | 14 |
| 2.2.9. Partnerstvo u ciljevima..... | 17 |
| 3. GUBITCI ENERGIJE U ZELENOJ ZGRADI | 19 |
| 3.1. Gubitci energije putem krova..... | 21 |
| 3.2. Gubitci energije kroz zidove | 26 |
| 3.2.1. Pasivna zidna toplinska izolacija | 26 |
| 3.2.2. Aktivna zidna toplinska izolacija..... | 29 |
| 3.3. Gubitak topline kroz profile vrata i prozora..... | 30 |
| 3.3.1. Koeficijent prolaza topline profila prozora i vrata..... | 31 |
| 3.3.2. Omjer površina prozora i zida..... | 34 |
| 3.3.3. Položaj prozora na pročeljima zgrade..... | 35 |
| 4. IZBOR MATERIJALA ZA PROFILE PROZORA I VRATA..... | 36 |
| 4.1. Osnovne skupine kriterija za izbor materijala..... | 36 |
| 4.2. Materijali koji se koriste u proizvodnji profila prozora i vrata | 37 |
| 4.2.1. Aluminiij i njegove legure | 39 |
| 4.2.1.1. Prednosti korištenja profila izrađenih od aluminijskih legura | 42 |
| 4.2.1.2. Nedostatci korištenja profila izrađenih od aluminijskih legura | 42 |
| 4.2.2. Poli(vinil-klorid) | 43 |

| | |
|---|----|
| 4.2.2.1. Prednosti korištenja PVC profila | 44 |
| 4.2.2.2. Nedostatci korištenja PVC profila | 45 |
| 4.2.3. Drvo | 46 |
| 4.2.3.1. Prednosti korištenja drvenih profila..... | 49 |
| 4.2.3.2. Nedostatci korištenja drvenih profila..... | 49 |
| 4.2.4. Polimerni kompoziti ojačani staklenim vlaknima..... | 49 |
| 4.2.4.1. Prednosti korištenja profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima | 51 |
| 4.2.4.2. Nedostatci korištenja profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima | 52 |
| 4.3. Ostakljenje profila prozora i vrata | 52 |
| 4.4. Budućnost profila za prozore i vrata u održivom razvoju..... | 54 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 56 |
| LITERATURA..... | 58 |
| PRILOZI..... | 62 |

POPIS SLIKA

| | | |
|----------|--|----|
| Slika 1 | Ciljevi održivog razvoja [3] | 2 |
| Slika 2 | Energetski krug u Shenzhenu [9] | 6 |
| Slika 3 | Zelena četvrt Bo01 u Švedskoj [14] | 8 |
| Slika 4 | Globalna energija iskorištena po sektorima u 2015. [16] | 10 |
| Slika 5 | Načini prijenosa topline [19] | 12 |
| Slika 6 | Pod izrađen od recikliranog drvnog materijala [21] | 13 |
| Slika 7 | Elektronska miješalica za umivaonik marke Hansgrohe [25] | 16 |
| Slika 8 | Prikaz granica sustava zgrade [11] | 19 |
| Slika 9 | Energetska učinkovitost zgrada [28] | 20 |
| Slika 10 | Toplinska izolacija masivne krovne konstrukcije [30] | 21 |
| Slika 11 | Prijenos topline zelenog krova [32] | 24 |
| Slika 12 | Izolacija vanjskog zida [34] | 27 |
| Slika 13 | Primjena ploča od ekstrudiranog polistirena komercijalnog naziva stirodur [35] | 28 |
| Slika 14 | Prikaz aktivnog izolacijskog sloja [36] | 30 |
| Slika 15 | Infracrveni prikaz smanjenog gubitka energije nakon postavljanja profila prozora boljih izolacijskih svojstava [37] | 31 |
| Slika 16 | Aluminijski profil s tri staklene stijenke marke Schüco [43] | 38 |
| Slika 17 | Proces vruće ekstruzije aluminijskog [45] | 41 |
| Slika 18 | Prikaz ekstruzije PVC profila [47] | 44 |
| Slika 19 | Uobičajeni izgled PVC profila [48] | 46 |
| Slika 20 | Profil prozora izrađen od drveta [49] | 48 |
| Slika 21 | Prikaz polimernog kompozita ojačanog staklenim vlaknima [50] | 50 |
| Slika 22 | Proizvodnja profila pultruzijom [51] | 51 |
| Slika 23 | Niskoemisijnsko (Low-E) staklo [52] | 54 |

POPIS TABLICA

| | | |
|-----------|---|----|
| Tablica 1 | Vodećih 10 država po stopi pošumljavanja [22] | 14 |
| Tablica 2 | Struktura potrošnje vode u kućanstvu [26]..... | 17 |
| Tablica 3 | Toplinsko-fizikalna svojstva slojeva zelenog krova [33]..... | 25 |
| Tablica 4 | Fizikalna i mehanička svojstva aluminija [44]..... | 39 |
| Tablica 5 | Osnovna svojstva nekih vrsta drveta [44] | 47 |
| Tablica 6 | Ugljični otisak aluminijskog, PVC i drvenog prozorskog profila s 1 m ² staklene površine [53]..... | 55 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Mjerna jedinica | Opis oznake |
|-------------|----------------------|-----------------------------------|
| A | m^2 | površina |
| c_p | $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ | specifični toplinski kapacitet |
| E | $N\ mm^{-2}$ | modul elastičnosti |
| G | S | električna vodljivost |
| k | $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ | koeficijent toplinskog prolaza |
| OPZ | % | omjer površina prozora i zidova |
| PO | m^2 | ukupna ostakljena površina |
| PZ | m^2 | ukupna površina zidova |
| q | $W\ m^{-2}$ | gustoća toplinskog toka |
| R_e | $N\ mm^{-2}$ | granica razvlačenja |
| R_m | $N\ mm^{-2}$ | vlačna čvrstoća |
| T | K | temperatura |
| α | $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ | koeficijent prijelaza topline |
| δ | mm | debljina stijenke |
| ϑ | $^{\circ}C$ | temperatura |
| λ | $W\ m^{-1}\ K^{-1}$ | koeficijent toplinske provodnosti |
| ρ | $kg\ m^{-3}$ | gustoća |
| Φ | W | toplinski tok |

POPIS KRATICA

| Kratika | Opis |
|----------------|--|
| ABS | akrilnitril/butadien/stiren |
| COP21 | engl. <i>21st Conference of the Parties</i> - 21. zasjedanje Konferencije stranaka |
| EPS | ekspandirani polistiren |
| LED | engl. <i>Light Emitting Diode</i> – Svjetleća dioda |
| Low-E | engl. <i>Low Emissivity</i> - niskoemisijsko |
| OSB | engl. <i>Oriented Strand Board</i> – usmjerena vlaknasta ploča |
| PET | poli(etilen-tereftalat) |
| PVC | poli(vinil-klorid) |
| SAD | Sjedinjene Američke Države |
| UN | Ujedinjeni narodi |
| UNEP | engl. <i>UN Environment Programme</i> – Program Ujedinjenih naroda za okoliš |
| UV | engl. <i>Ultraviolet Radiation</i> – ultraljubičasto zračenje |
| WorldGBC | engl. <i>World Green Building Council</i> - Svjetsko vijeće za zelenu gradnju |
| WWR | engl. <i>Window-to-Wall Ratio</i> – omjer ostakljenih površina i svih zidova |

SAŽETAK

Održivi razvoj je proces koji se odnosi na fokusiranje poboljšavanja ljudskih potreba uz prepoznavanje i poštivanje biofizičkih osnova za te potrebe. To uključuje ravnotežu okoliša, društva i gospodarstva, a konačni cilj je napredak društva u očuvanom okolišu. Postoji 17 Ciljeva održivog razvoja, a primjenom ideje zelenog zgradarstva i konstantnim poboljšavanjem ekološkog aspekta građevinarstva aktivno se utječe na njih 9. Svaki od spomenutih Ciljeva detaljno je opisan ovim radom kroz primjere već postignutih pozitivnih ishoda i promjena.

Održiva niskoenergetska zelena zgrada s nultom emisijom energije opisana je kao struktura koja može stvoriti spoj sigurne kvalitete zraka u zatvorenom prostoru uz nižu potrošnju električne energije kroz povećanje učinkovitosti toplinske izolacije, kao i minimiziranje potražnje za klimatizacijom.

Nadalje, energetska učinkovitost zgrada značajno se može povećati ako se pobliže shvate načini gubitka topline iz zgrada. Na taj način se analizom toplinskog prolaza kroz krovnu strukturu, vanjske zidove i profile te ostakljenja prozora i vrata omogućava neprekidno poboljšavanje izolacijskih svojstava cjelokupne zgrade.

U ovom radu, analiza postojećih materijala za izradu prozorskih profila i pripadnih proizvodnih postupaka vodi nas do zaključka kako je potrebno jasno i odgovorno primijeniti promjene. Danas se glavovina profila proizvodi od PVC-a i aluminijskih legura, a to ekološki nije najbolje rješenje, premda takvi profili zadržavaju dobra izolacijska svojstva. U budućnosti, morat ćemo se okrenuti drvu, kao prirodnoj sirovini za proizvodnju profila, koje pruža manje zagađenje okoliša, zadržava kvalitetu, a pogodno je za unaprjeđenje održivog razvoja. U sklopu toga, podrazumijeva se i globalno provođenje postupka pošumljavanja, tj. reforestacije kako se zalihe drvene sirovine ne bi iscrpile.

Ključne riječi: Ciljevi održivog razvoja, zeleno zgradarstvo, gubitci topline u zgradama, materijali za prozore, materijali za vrata

SUMMARY

Sustainable development is a process that focuses on improving human needs while recognizing and respecting the biophysical basis for those needs. This includes the balance of the environment, society and the economy, and the ultimate goal is the progress of society in a preserved environment. There are 17 Sustainable Development Goals, and by applying the idea of green building and constantly improving the environmental aspect of the civil engineering, we can actively influence the 9 of them. Each of the forementioned Goals is described in detail in this paper through examples of already achieved positive outcomes and changes.

A sustainable, low-energy, zero-emission green building is described as a structure that can create a blend of safe indoor air quality with lower electricity consumption by increasing thermal insulation efficiency as well as minimizing demand for air conditioning.

Furthermore, the buildings energy efficiency can be significantly increased if the ways of heat loss from buildings are better understood. In this way, the analysis of the thermal passage through the roof structure, external walls and profiles, as well as the glazing of windows and doors enables the continuous improvement of the insulation properties of the entire building.

In this Bachelor thesis, the analysis of existing materials for the production of window profiles and related production processes leads us to the conclusion that it is necessary to clearly and responsibly apply the changes. Today, the majority of profiles are made of PVC and aluminum alloys, and this is not the best solution ecologically, although such profiles retain good insulating properties. In the future, we will have to use wood, as a natural material for the production of profiles, which provides less environmental pollution, maintains quality, and is suitable for promoting sustainable development. As a part of this, the global implementation of the reforestation process is considered, so that the stocks of wood raw material would not be depleted.

Key words: Sustainable Development Goals, green building, heat loss from buildings, materials for window, materials for door profiles

1. UVOD

Agenda 30 je svjetski plan djelovanja za ljude, planet i prosperitet. Također nastoji ojačati mir na svjetskoj razini te promiče veću slobodu pripadnika svih naroda. Svjesni smo da je iskorjenjivanje siromaštva u svim njegovim oblicima, uključujući ekstremno siromaštvo, najveći svjetski izazov i neophodan zahtjev za održivi razvoj. Stoga, sve zemlje i svi sudionici, partnerski djelujući na globalnoj razini, provode ovaj plan. Glavni cilj je dobrobit ljudske rase i oslobođenje od prijetnje siromaštva i oskudice te osiguranje našeg planeta održivim razvojem. Dok krećemo na ovo kolektivno putovanje, bitno je da ni jedna država ne zaostaje u razvoju. 17 Ciljeva održivog razvoja pokazuju razmjor i ambiciju ovog novog projekta. Projekt se nastoji nadovezati na Milenijske razvojne ciljeve i dovršiti ono što oni nisu postigli. Nastoje ostvariti ljudska prava svih i postići ravnopravnost spolova. Oni su integrirani i nedjeljivi te uravnotežuju tri dimenzije održivog razvoja: gospodarsku, društvenu i ekološku.

Ciljevi i zadaci svakako potiču rad i djelovanje tijekom sljedećih petnaest godina u područjima od ključne važnosti za čovječanstvo i planet. [1]

1. siječnja 2016. označio je ključnu prekretnicu u zajedničkim naporima država članica UN-a pri kojima se promiče prosperitet uz zaštitu planeta jer su se svjetski čelnici složili i na snagu stupili UN-ove Ciljeve održivog razvoja. Ovi ciljevi postavljaju izazov za čovječanstvo da odvoji gospodarski rast od klimatskih promjena, siromaštva i nejednakosti, a u tom izazovu zeleno zgradarstvo jedan je od ključnih koraka za rješavanje spomenutih problema.

Dok bi mnogi mogli gledati u zgradu i vidjeti samo neživu strukturu, mi ju moramo promatrati kao fizikalni sustav i proces kojim su stvorene – priliku ne samo za uštedu energije i vode te smanjenje emisije ugljika, već i za obrazovanje, otvaranje radnih mjesta, ojačanje lokalne zajednice ljudi, poboljšanje zdravlja i dobrobiti cjelokupnog društva. Zeleno zgradarstvo pravi je katalizator za rješavanje nekih od najbitnijih svjetskih problema. [2]

Spomenuti Ciljevi održivog razvoja su idući:

- iskorjenjivanje siromaštva
- eliminiranje gladi u svijetu

- zdravlje i blagostanje
- kvalitetna naobrazba i školovanje
- jednakost spolova
- pitka voda širom svijeta i sanitarni čvorovi
- pristupačna i čista energija
- rad i ekonomski rast
- poboljšanje industrije, ekoloških inovacija i infrastrukture
- smanjenje socijalnih nejednakosti
- održivi gradovi i zajednice
- odgovorna proizvodnja i potrošnja
- suzbijanje klimatskih promjena
- očuvanje flore i faune podvodnih ekosustava
- održivi život na zemlji i očuvanje prirode
- mir, pravda i ojačanje državnih institucija
- partnerstvo pri postizanju rješenja problema.



Slika 1 Ciljevi održivog razvoja [3]

2. ZELENO ZGRADARSTVO

2.1. Što je zelena zgrada?

Zelena zgrada je zgrada koja svojim projektiranjem, gradnjom ili radom smanjuje i otklanja negativne utjecaje na okoliš te stvara poboljšanja na klimu i prirodno okruženje. Zelene zgrade čuvaju dragocjene prirodne resurse i značajno pospješuju kvalitetu našeg života. [4]

Postoji niz karakteristika i obilježja koje zgradu mogu učiniti zelenom. To uključuje:

- učinkovito korištenje energije, vode i drugih resursa
- korištenje obnovljive energije, kao što je npr. solarna energija
- mjere smanjenja onečišćenja i otpada, te omogućavanje recikliranja
- dobra kvaliteta zraka u zatvorenom prostoru
- gradnja održivim materijalima koji nisu otrovni
- proučavanje i očuvanje okoliša prilikom izgradnje
- razmatranje kvalitete života stanara u projektiranju, izgradnji i radu
- dizajn koji omogućuje prilagodbu promjenjivom okruženju.

Svaka zgrada može biti zelena zgrada, bilo da se radi o domu, uredu, školi, bolnici, društvenom centru, spalionici otpada ili bilo kojoj drugoj vrsti građevine, pod uvjetom da uključuje gore navedene značajke.

2.2. Zeleno zgradarstvo u promicanju Ciljeva održivog razvoja

Održivi razvoj je proces koji se odnosi na fokusiranje poboljšavanja ljudskih potreba uz prepoznavanje i poštivanje biofizičkih osnova za te potrebe. To uključuje ravnotežu okoliša, društva i gospodarstva, a konačni cilj je napredak društva u očuvanom okolišu. [5]

Iako je 17 ciljeva širokog raspona, od zaustavljanja gladi do promicanja miroljubivih i uključivih društava, svaki s detaljnim prioritetima koje treba postići u sljedećih 15 godina, postoji nekoliko ciljeva kojima je dokazano da je zeleno zgradarstvo već pridonijelo poboljšanju kvalitete života na značajan način. [2]

2.2.1. Zdravlje i blagostanje

Način dizajniranja zgrade bitno utječe na zdravlje njenih stanovnika. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji, bolesti pluća i dišnog sustava povezane s lošom kvalitetom zraka i okoliša u zatvorenom prostoru tri su od pet vodećih uzroka smrti. [6] No, poboljšana rasvjeta, bolja kvaliteta zraka te sadnja i održavanje biljaka pozitivno utječu na zdravlje i život ukućana. Reduciranje emisija iz zgrada (pogotovo u gradovima) može smanjiti onečišćenje i poboljšati kvalitetu zraka.

2.2.1.1. Poboljšana rasvjeta

Rasvjeta predstavlja veliku količinu svjetske potrošnje električne energije. Osim utjecaja na okoliš zbog uporabe rasvjetnih proizvoda, postoje i utjecaji dobivanja materijala, proizvodnje, transporta i zbrinjavanja otpada na kraju životnog vijeka proizvoda. Ekološka rasvjeta mora biti:

- energetski učinkovita
- zasjenjena i pravilno usmjerena
- ispravne boje svjetlosti
- umjerenog intenziteta
- opravdanog korištenja.

Integracija procesa za očuvanje okoliša u fazi projektiranja rasvjetnih proizvoda mogla bi dovesti do poboljšanja njihove ekološke učinkovitosti. Kao primjer, reciklirani polietilen tereftalat (PET) koristi se za kućište i kabelačke cijevi, hladnjak od reciklirane aluminijske legure koristi se za hlađenje LED dioda, a pritom se vodi računa o ugradnji svih elektroničkih komponenti u jednom potezu kako bi se olakšao popravak i postavljanje. [7]

2.2.1.2. Kvaliteta zraka

Osiguranje kvalitete zraka u zatvorenom prostoru uglavnom se provodi kroz razmjenu zraka između interijera i eksterijera. Uz organske i anorganske onečišćujuće tvari u česticama (koje imaju izravan utjecaj na zdravlje ljudi), glavni problem koji utječe na unutarnji okoliš zgrade je vodena para i ugljični dioksid za čiju emisiju su odgovorni stanari zgrade. Propusnost zraka u prostorijama zgrade osobito je važna kako u energetskom smislu (smanjenje potrošnje energije

u zgradama ograničavanjem izmjene zraka), tako i za osiguranje uvjeta za toplinsku udobnost (osiguranje potrebnog protoka zraka). Smanjenje propusnosti zraka u zgradama kroz korištenje vrlo nepropusnih brtvi, posebno izoliranog stakla i materijala za zidne obloge vrlo slabo propusnog za zrak i vodenu paru, ima veliki utjecaj na kvalitetu zraka u zatvorenom prostoru povećanjem koncentracije vodene pare i ugljičnog dioksida. [8]

2.2.2. *Pristupačna i čista energija*

Najjeftinija energija je energija koju ne koristimo, a uštede energije iz učinkovitih, zelenih zgrada - bilo poslovnih zgrada ili kuća - često su jedna od prednosti o kojima se najviše govori. Obnovljivi izvori energije jeftinija su i ekološki zahvalnija alternativa fosilnim gorivima. Energetska učinkovitost u kombinaciji s lokalnim obnovljivim izvorima također poboljšava energetska uštedu i obnovljivost.

Vrste obnovljivih izvora energije su:

- sunčeva energija
- energija vode (npr. energija plime i oseke)
- bioenergija, tj. biomasa
- geotermalna energija.

Odličan primjer energetske obnovljivosti je Energetski krug u gradu Shenzhenu u Kini kojeg prikazuje Slika 2 Energetski krug u Shenzhenu [9]. Smješten na periferiji Shenzhena, koristit će se spaljivanje 5000 tona otpada dnevno, generirajući 550 milijuna kWh električne energije svake godine. S populacijom od 20 milijuna, Shenzhen proizvodi 15000 tona otpada dnevno, što je broj koji raste oko 7 % godišnje. Kako bi se tome suprotstavio, grad je želio izgraditi novo postrojenje koje koristi najnaprednije tehnološke procese u spaljivanju otpada i djeluje ujedno kao izvor ekološke naobrazbe za građane grada, ali i kao cijenjeni primjer za cijeli svijet. Krov od 66000 m² dizajniran je tako da ga pokriva 44000 m² fotonaponskih panela, što postrojenju pruža mogućnost ne samo da pruži čišći način rješavanja gradskog otpada, već i da pridonese opskrbi obnovljivih izvora energije za grad kroz transformaciju sunčeve energije u električnu. Projekt bi trebao biti dovršen i pušten u pogon tokom ove godine. [9]



Slika 2 Energetski krug u Shenzhenu [9]

2.2.3. Rad i ekonomski rast

Promicanje gospodarskog rasta, zapošljavanja i boljih radnih mjesta bitna su obilježja pozitivnog ishoda zelenog zgradarstva. Također, to uključuje i bolje vođenje zaštite na radu, a time se povećava sigurnost i zdravlje zaposlenika. Nadalje, zeleno zgradarstvo kao zasebna industrija otvorila je brojna radna mjesta i mogućnosti zapošljavanja. Na primjer, industrija zelene gradnje u Kanadi pružila je gotovo 300000 radnih mjesta s punim radnim vremenom u 2014. godini, što je uključivalo procese dizajniranja, izgradnje, održavanja pa čak i obnove zelenih zgrada. [10]

2.2.4. Industrija, inovacije i infrastruktura

Objekti moraju biti izgrađeni na način da su otporni i prilagodljivi promjenjivoj globalnoj klimi. To je jako važno u zemljama u razvoju, od kojih će mnoge biti iznimno osjetljive na učinke klimatskih promjena. Težnja prema gradnji zelenih zgrada koje pomiču granice održivosti, kao što su zgrade s nultom stopom emisije, također je glavni pokretač inovacija i tehnologije.

Održiva ultra-niskoenergetska zelena zgrada s nultom emisijom energije opisana je kao struktura koja može stvoriti spoj sigurne kvalitete zraka u zatvorenom prostoru uz nižu

potrošnju električne energije kroz povećanje učinkovitosti toplinske izolacije, kao i minimiziranje potražnje za klimatizacijom. Razmatrane su različite strategije za minimiziranje utjecaja fosilnog goriva na okoliš povećanjem učinkovitosti konvencionalnih metoda pretvorbe energije. To se postiže razvojem učinkovitih uređaja za tu svrhu s niskim utjecajem na okoliš i korištenjem obnovljivih izvora energije koji su održivi i imaju nisku razinu negativnog učinka na okoliš. Unatoč valjanom argumentu da dnevna rutina stanara u zgradi ima direktnu vezu s grijanjem, hlađenjem, ventilacijom kao i osvjetljenjem te s toplinskim karakteristikama zgrade, temeljito istraživanje koje nastoji istražiti poveznicu između ljudskih aktivnosti i zelene zgrade nije kritički ocjenjivano u posljednjem desetljeću. U Europi se nekoliko puta pokušavala procijeniti i analizirati energija koja se koristi u objektima. Na primjer, nekoliko programa pokrenuto je prema izgradnji zgrade s gotovo nultom emisijom energije uglavnom kako bi se ublažile klimatske promjene, kao i onečišćenje okoliša. Nadalje, postalo je vrlo važno da se nove zgrade grade s obzirom na energiju potrebnu za upravljanje takvim zgradama, a to se sada veže s potrebom za iskorištavanjem energije iz obnovljivih izvora. Slično tome, ugradnja pametnih uređaja u objekte s gotovo nultom emisijom energije značajno će ograničiti energetske potrebe zelenih zgrada. [11]

2.2.5. Održivi gradovi i zajednice

Predviđa se kako će gotovo 60 % svjetske populacije živjeti u urbanim područjima do 2030., pa je osiguravanje njihove održivosti od iznimne važnosti. Zgrade su temelji gradova, pa su zelene zgrade stoga ključne za dugoročnu održivost gradskih sredina. Bilo da se radi o domovima, uredima, školama, trgovinama ili zelenim površinama, izgrađeno okruženje doprinosi uređenju zajednica, koje moraju biti održive kako bi se osigurala visoka kvaliteta života za sve. Zapravo, u mnogim zemljama, vijeća za zelenu gradnju prešla su dalje od certificiranja pojedinačnih zelenih zgrada i razvila su procese koji olakšavaju formiranje zelenih četvrti. [2]

Zelena četvrt može se definirati kao područje koje zadovoljava potrebe svakodnevnih aktivnosti ljudi i omogućuje zajednicama da kontroliraju zagađenje, štede energiju, povećaju zaposlenost, smanjuju stopu kriminala, razvijaju prijateljstva, prakticiraju metode obnovljive energije na licu mjesta i očuvaju poljoprivredu i okoliš na osjetljivim područjima. U takvom okruženju ljudima je omogućen lak pristup svom domu, radnim mjestima, javnim objektima, tranzitnim objektima

i zelenim površinama unutar kruga koji je moguće obići čak i pješice. U današnjici sve se više radi na nekim od glavnih i osnovnih aspekata poboljšanja obzirnosti prema okolišu kao što su: pružanje pješačke staze, osiguravanje biciklističke staze, sustavi za prikupljanje kišnice, kompostiranje otpada, održiva poljoprivreda u zajednici itd. [12]

Jedan od najboljih primjera zelene četvrti je četvrt švedskoga grada Malmö nazvana Bo01 koju prikazuje Slika 3 Zelena četvrt Bo01 u Švedskoj [14]. Malmö, treći po veličini grad u Švedskoj, odlučio je iskoristiti prednosti nekadašnjih industrijskih i napuštenih područja Västra Hamnea kako bi izgradio eko-susjedstvo koje bi se moglo istaknuti na međunarodnoj razini. Nastao 2001. godine, projekt je doveo do europske izložbe posvećene stanovanju budućnosti i čije je ime usvojeno ovom zelenom pretvorbom: Bo01. Eko-kvart u Malmöu, 100 % pogonjen obnovljivim izvorima energije, posebnu pozornost posvećuje udobnosti svojih stanovnika s velikim zelenim površinama ispresijecanim biciklističkim stazama i mrežom električnih autobusa koji rade u tišini. [13]



Slika 3 Zelena četvrt Bo01 u Švedskoj [14]

2.2.6. Odgovorna potrošnja i proizvodnja

Građevinska industrija ima glavnu ulogu u sprječavanju nastanka otpada kroz smanjenje, recikliranje i ponovnu upotrebu. To su glavna načela kružne ekonomije gdje se resursi ne

rasipaju i upotrebljavaju se odgovorno. Na taj način smanjuje se količina otpada koji odlazi na odlagalište, ali i količina sirovina koja se izvozi iz države.

Građevinska industrija traži načine kako ublažiti svoj utjecaj na okoliš, sada kada vlade i poduzeća daju veći značaj održivosti. Građevinski otpad uzrokuje značajnu štetu, jer čini oko jedne trećine ukupnog otpada. Recikliranjem građevinskih materijala može se značajno smanjiti utjecaj industrije na okoliš. Tradicionalno se građevinski otpad i otpad od rušenja odlaže na odlagališta. Međutim, to ima negativan utjecaj na okoliš, onečišćujući podzemne vode i okolna staništa. Građevinske tvrtke, inženjeri i projektanti uče da je recikliranje korisno za cijelu industriju. Recikliranje građevinskih materijala ima dvije glavne ekološke prednosti: štedi energiju i smanjuje otpad na odlagalištu. Najbolji način za recikliranje građevinskog otpada je korištenje u novim projektima, a postoji mnogo građevinskih materijala koji se mogu reciklirati.

[15] Slijedi nekoliko otpadnih materijala u građevinarstvu:

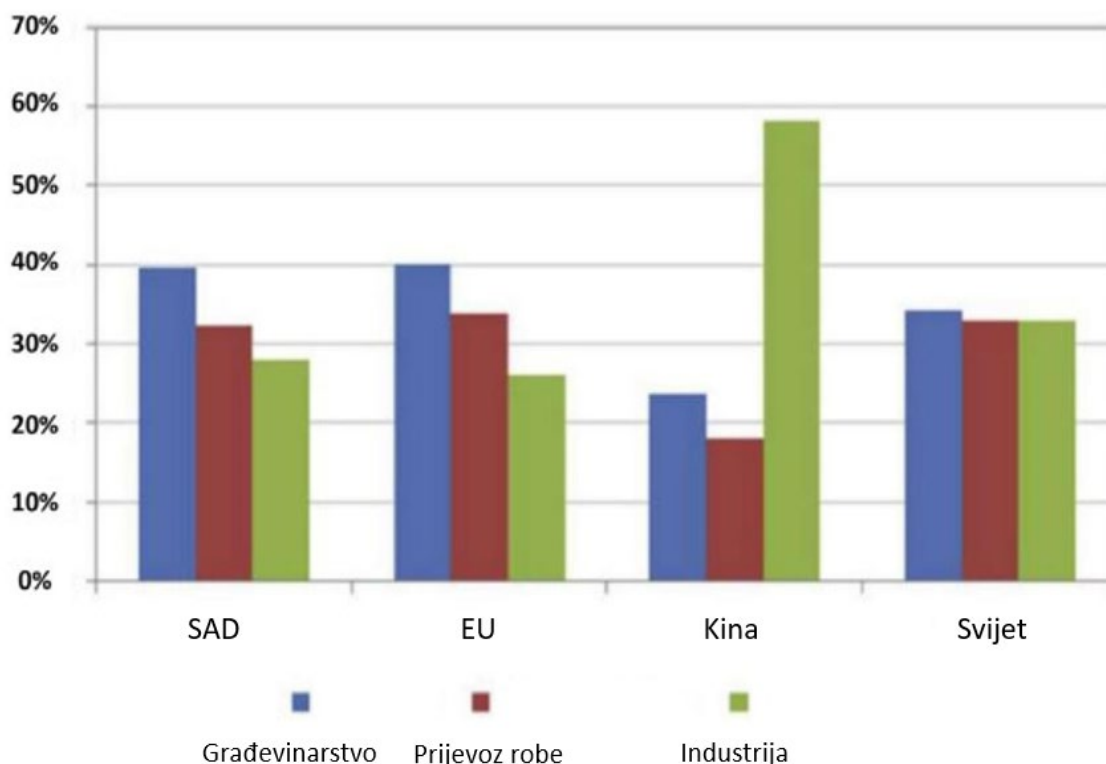
- beton
- metali
- asfalt
- drvo
- staklo
- papir i karton
- gips
- cigla
- razna oprema kao što su npr. umivaonici ili kade
- profili prozora, vrata te dijelovi krova
- polimerni materijali
- biljke.

2.2.7. Klimatske promjene

Danas je u svijetu, kao što svi znamo, potrebno poduzeti hitne mjere u borbi protiv klimatskih promjena i njihovih učinaka. Zgrade su odgovorne za više od 30 % globalnih emisija stakleničkih plinova i stoga one najviše doprinose klimatskim promjenama.

Ali po istom principu, zelene zgrade imaju ogroman potencijal za borbu protiv toga, nudeći jedan od najisplativijih načina za to, kroz mjere kao što je energetska učinkovitost. Na primjer, zgrade s certifikatom Green Star u Južnoj Africi štede 336 milijuna kilograma emisija ugljika godišnje, što je isto kao da se 84.000 automobila makne s cesta. [2]

Na području Europe emisija energije koja potječe iz zgrada iznosi gotovo 40 %. To je iznimno veliki postotak u ukupnoj količini energije kojom se doprinosi negativnom utjecaju na okoliš. Upravo je zato u području zelene gradnje ključ uspjeha u borbi protiv štetnih klimatskih promjena jer tu postoji najviše mjesta za napredak od svih ostalih načina zagađivanja okoliša, kao što su proizvodna industrija ili prijevoz koji troši ogromne količine energije na globalnoj razini, a to dijagramom definira Slika 4.



Slika 4 Globalna energija iskorištena po sektorima u 2015. [16]

Jedan od boljih primjera održive gradnje je projekt u južnoj Francuskoj koji se sastojao od procesa odabira materijala, projektiranja i izgradnje niza malih stambenih zgrada. Kad god je

to bilo moguće, materijali su nabavljeni na licu mjesta kako bi se smanjio utjecaj novoizgrađenih zgrada na okoliš. Posebno se ocrtava proces odabira materijala, zidanje kamenom za čije vezivo se koristi beton dobiven na istom području i oblik gradnje. Dane su i smjernice za općenitije usvajanje procesa gradnje. Energija koja se troši u izgradnji jedne kuće uspoređuje se s tipičnom betonskom kućom. Usvajanjem lokalnih materijala, količina utrošene energije u gradnji smanjena je do 215 %, a utjecaj transporta za 453 %. Međutim, usvajanje lokalnih materijala u razvijenim zemljama može biti otežano gubitkom tradicionalnih građevinskih zanata i nedostatkom odgovarajućih građevinskih standarda. [17]

Kako bi se iz prve ruke pokazalo da i najmanje sitnice, koje se moraju uzeti u obzir prilikom dizajniranja i izgradnje zelenih zgrada, mogu pridonijeti učinkovitijem korištenju dragocjene energije, možemo se osvrnuti na tropski grad Singapur koji broji oko 6 milijuna ljudi i jedan je od najrazvijenijih gradova današnjice. U Singapuru urbano toplinsko okruženje jako utječe na život i kvalitetu života stanovnika. Kako bi se identificirali utjecaji geometrije zgrade i radijacijskih svojstava na gradski toplinski okoliš, razvijen je numerički model i simulirani su različiti slučajevi sa specifičnim konfiguracijama. Utvrđeno je da je urbana toplinska okolina prilično osjetljiva na rezoluciju geometrije zgrade, visinu zgrade i širinu razmaka između zgrada. Uz detaljnije informacije o geometriji zgrade, postoji mogućnost proračuna utjecaja efekta grijanja tzv. „zarobljenih“ zračenja u udubljenim područjima zgrada. Za otprilike 1 °C topliji zrak će se akumulirati oko krovova viših zgrada, dok je temperatura zraka na visini od 1 m oko 1 °C toplija oko niskih zgrada. Utvrđeno je da apsorpcija najviše pridonosi toplinskom okruženju i to za oko 3 °C. S novim materijalima niske apsorpcije i visoke refleksije moguće je poboljšati urbano toplinsko okruženje i na taj način osigurati ugodniji život u ogromnom gradu s tropskom klimom gdje su potrebe za klimatizacijom i hlađenjem značajne. Razlog tome je taj što građevinski materijali, govoreći konkretno za sunčevu svjetlost, mogu reflektirati, prenijeti ili apsorbirati sunčevo zračenje. Kako bi se to umanjilo mogu se poduzeti neke mjere kao primjerice, ograničavanje područja otvora na zgradama i njihovo pozicioniranje na mjesta gdje sunčeva svjetlost ne pada tokom dana ili korištenje reflektirajućeg ostakljenja. [18]



Slika 5 Načini prijenosa topline [19]

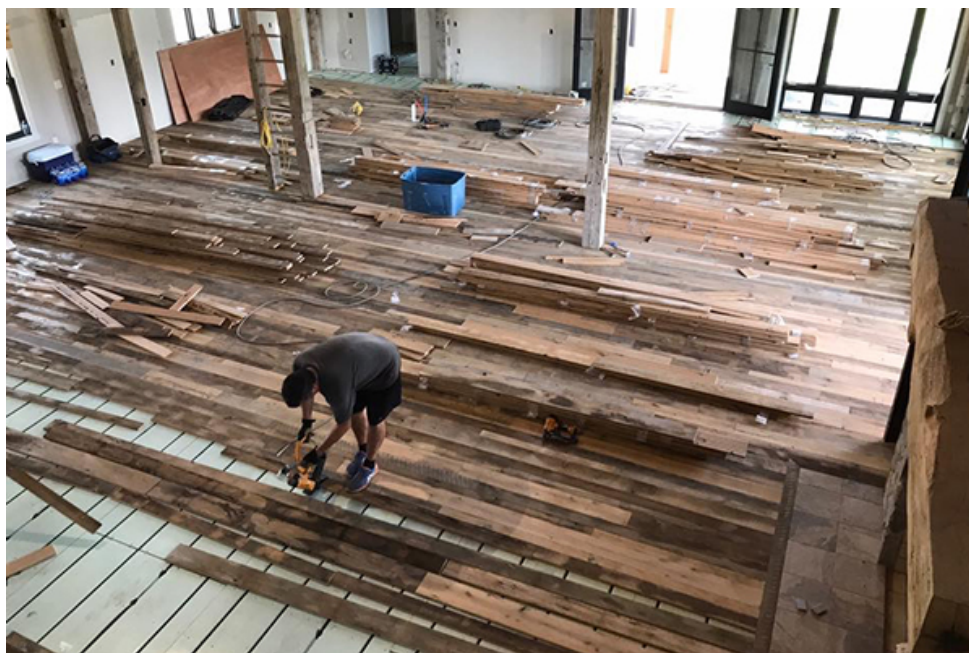
2.2.8. Život na Zemlji

Ovaj cilj odnosi se na održivo upravljanje šumama, borbu protiv dezertifikacije, zaustavljanje uništavanja zemljišta i gubitka biološke raznolikosti. Materijali koji se koriste prilikom gradnje zelenih zgrada ključni su za određivanje njezine održivosti. Stoga, građevinska industrija i njezini opskrbljivači sirovinama imaju glavnu ulogu u korištenju odgovornih materijala kao što je npr. drvo. Pružatelji usluga certificiranja zelenog zgradarstva također prepoznaju potrebu za

smanjenjem korištenja vode, vrijednost biološke raznolikosti i važnost njezine zaštite, a to i promiču u prostoru na kojem grade tijekom i nakon izgradnje. Tako se smanjuje štetan utjecaj na prirodu oko nas i promiče se održivi i zdravi razvoj okoliša.

2.2.8.1. Pošumljavanje

Pošumljavanje je umjetno podizanje šuma sadnjom sadnica ili sjetvom sjemena na površinama koje su dugo bile bez šuma. Korištenjem i implementiranjem drva kao građevinskog materijala, značajno se može smanjiti onečišćenje okoliša jer je drvo recikličan i potpuno ekološki prihvatljiv materijal. Konstantnim i održivim pošumljavanjem svijet može dobiti neiscrpan izvor materijala, a da pritom ne narušavamo biološku raznolikost i ne dovodimo u pitanje već postojeće šume koje ne bismo smjeli koristiti kao energetske resurs. Pošumljavanje nudi način na koji se biološka raznolikost može obnoviti u degradiranim šumama i zemljištima. Postoji nekoliko metoda pošumljavanja koje se mogu koristiti. To uključuje oslanjanje na prirodnu regeneraciju i sjetvu sjemena ili sadnju presadnica. Opseg u kojem se biološka raznolikost može obnoviti ovisi o vrsti pošumljavanja, pokrivenom području i njegovu položaju u krajoliku. Troškove pošumljavanja i obnove biološke raznolikosti moraju podijeliti vlasnici zemljišta i drugi dionici ako proces želimo proširiti na velika područja koja su obično potrebna za postizanje očuvanja biološke raznolikosti. [20]



Slika 6 Pod izrađen od recikliranog drvnog materijala [21]

Iako većina država nije osviještena po pitanju pošumljavanja, postoje neke države koje ipak vode računa o svojim šumama i konstantno poboljšavaju proces reforestacije na svojem području. Tablica 1 upravo pokazuje navedene države. Shodno tome, u takvim državama proizvodi drvne industrije zauzimaju sve veći udio u broju gotovih proizvoda. Iako se cjenovno, npr. stol izrađen od polimernog materijala čini boljom solucijom, kupnjom drvenog stola promičemo ekološku osviještenost jer se u njegovoj izradi okoliš daleko manje onečišćuje pod uvjetom da je izrađen iz drvne sirovine koju smo dobili iz održivog procesa pošumljavanja.

Tablica 1 Vodećih 10 država po stopi pošumljavanja [22]

| Država | Površina godišnjeg pošumljavanja / km² |
|---------------|--|
| Rumunjska | 410 |
| Italija | 510 |
| Francuska | 830 |
| SAD | 1080 |
| Turska | 1180 |
| Vijetnam | 1260 |
| Čile | 1490 |
| Indija | 2660 |
| Australija | 4460 |
| Kina | 19370 |

2.2.8.2. Ekološki osviješteno korištenje vodnih resursa

Voda je vitalni element za opstanak čovječanstva. Međutim, zbog neravnomjerne raspodjele i neracionalnog korištenja vodnih resursa, nekoliko regija suočava se s problemima nestašice vode. S obzirom na ovaj scenarij, proučavani su različiti izvori ponovne uporabe vode. Kondenzirana voda iz klima uređaja i siva voda, iako još uvijek malo istražene, imaju veliki potencijal za nadopunu korištenih vodnih resursa. Siva voda odnosi se na otpadne vode iz kućanstava ili poslovnih zgrada koje nastaju iz tokova vode bez fekalnih onečišćenja, tj. svih

tokova osim otpadnih voda iz toaleta. Izvori sive vode uključuju sudopere, tuševe, kade, perilice rublja ili perilice posuđa. Studenti brazilskog Federalnog sveučilišta Viçosa zato su proveli istraživanje u kojem su ustanovili da se u zgradi njihovog Odsjeka za poljoprivredno inženjerstvo može poboljšati iskorištavanje i potrošnja vode. S obzirom da procijenjena trenutna mjesečna potrošnja vode zgrade iznosi 172,42 m³, pretpostavka je da se ponovnim korištenjem može uštedjeti oko 68,6 % vode. Usvajanjem ponovne uporabe vode i predloženim mjerama, kao što su aerator iz slavine i spojeni ispusti, odjel će također doprinijeti očuvanju vodnih resursa, kojih u gradu Viçosa ionako ima malo, te smanjiti troškove. Nadalje, zgrada može postati referenca u ponovnoj upotrebi vode za druge zgrade i za predlaganje zakona o ponovnoj upotrebi vode. Zaključno, zgrada sveučilišta primjer je i za sva kućanstva i dokaz da se racionalna upotreba vode može primjenjivati i na manjim objektima koji spojeni u veliku cjelinu ipak jako puno pridonose štednji dragocjenih vodnih resursa. [23]

Cijeli svijet suočava se s pitanjem kako osigurati čistu, pouzdanu opskrbu vodom uključujući poteškoće zbog rasta stanovništva, brzog razvoja i globalnog zatopljenja. Mnoge zajednice već su počele provoditi ograničenja potrošnje vode. Postoji nekoliko jednostavnih stvari koje možete učiniti kod kuće kako biste smanjili opterećenje lokalne vodoopskrbe i uštedjeli novac u tom procesu:

- zatvorite slavinu dok perete zube
- pokrenite perilicu rublja i suđa samo kada su skroz pune
- koristite glavu tuša s malim protokom i aeratore slavine
- pokušajte se tuširati što kraće
- popravite curenja vode
- ugradite toaletne školjke s mogućnošću malog i velikog ispiranja
- prestanite koristiti toaletne školjke za rješavanje otpada
- nemojte pretjerano zalijevati travnjak tijekom kišnih razdoblja i instalirajte senzore za kišu na sustave za navodnjavanje
- ugradite spremnike za hvatanje kišnice koja otječe s vašeg krova, prilaza i drugih površina. [24]

Na području Europe značajnije se istaknula njemačka tvrtka Hansgrohe koja je uvela inovativne tehnologije štednje vode i energije koje su primijenili na svojim proizvodima poput miješalica za umivaonike. Hansgrohe-ove miješalice i tuševi koji su opremljeni tehnologijom EcoSmart troše do 60 % manje vode od uobičajenih proizvoda – pritom ne smanjujući udobnost korištenja. Primjerice, pokretanje elektronske miješalice odvija se putem infracrvenog senzora koji prepoznaje toplinu ruke, a Slika 7 pokazuje navedeni proizvod. Takvo rješenje posebno se cijeni jer je ekonomično, higijensko i beskontaktno. Takva tehnologija omogućuje smanjenje troškova vode i električne energije, a na taj način štedi dragocjene resurse.



Slika 7 Elektronska miješalica za umivaonik marke Hansgrohe [25]

Potrošnja vode ima također i direktnu vezu s potrošnjom energije u kućanstvu. Ako, primjerice, imate električni bojler, on troši goleme količine električne energije za zagrijavanje vode, a to je dvostruki problem jer stvara veće energetske zagađenje vašeg okoliša i povećava novčani deficit putem znatno skupljih mjesečnih računa. Uređaj poput hidrofora može još dodatno povećati troškove. Činjenica je da vodu shvaćamo dosta olako i rasipamo je, a time ne samo da štetimo okolišu nego štetimo i svom kućnom budžetu. Najveća količina topline gubi se zbog neizoliranih cijevi. Stoga se u svakom kućanstvu preporuča izoliranje cijevi, posebice ako prolaze kroz slabo grijane prostore, kao što su podrumi. Vodu u bojleru nije potrebno zagrijavati iznad 60 °C pa je i to jedan od korisnijih savjeta kako uštediti energiju. Jednom godišnje potrebno je očistiti grijač bojlera od naslaga kamenca kako se ne bi koristio višak toplinske

energije za grijanje vode. Jedna od najboljih solucija svakako je i korištenje štednih armatura u kupaonicama. Niskoprotočne tuš-glave koriste i do 60 % manje vode nego standardne armature. Tablica 2 sistematično prikazuje navedenu usporedbu potrošnje vode u kućanstvu bez ugrađenih štednih armatura i s njihovom ugradnjom.

Tablica 2 Struktura potrošnje vode u kućanstvu [26]

| Vrsta potrošnje | Dnevna potrošnja vode / L | |
|-----------------|---------------------------|-----------------|
| | Normalne armature | Štedne armature |
| Pranje rublja | 18 | 18 |
| Hrana i piće | 6 | 6 |
| Osobna higijena | 48 | 33,6 |
| Vodokotlić | 51 | 35,7 |
| Pranje suđa | 7,5 | 7,5 |
| Čišćenje | 9 | 9 |
| Ostale namjene | 10,5 | 10,5 |
| UKUPNO | 150 | 120,3 |

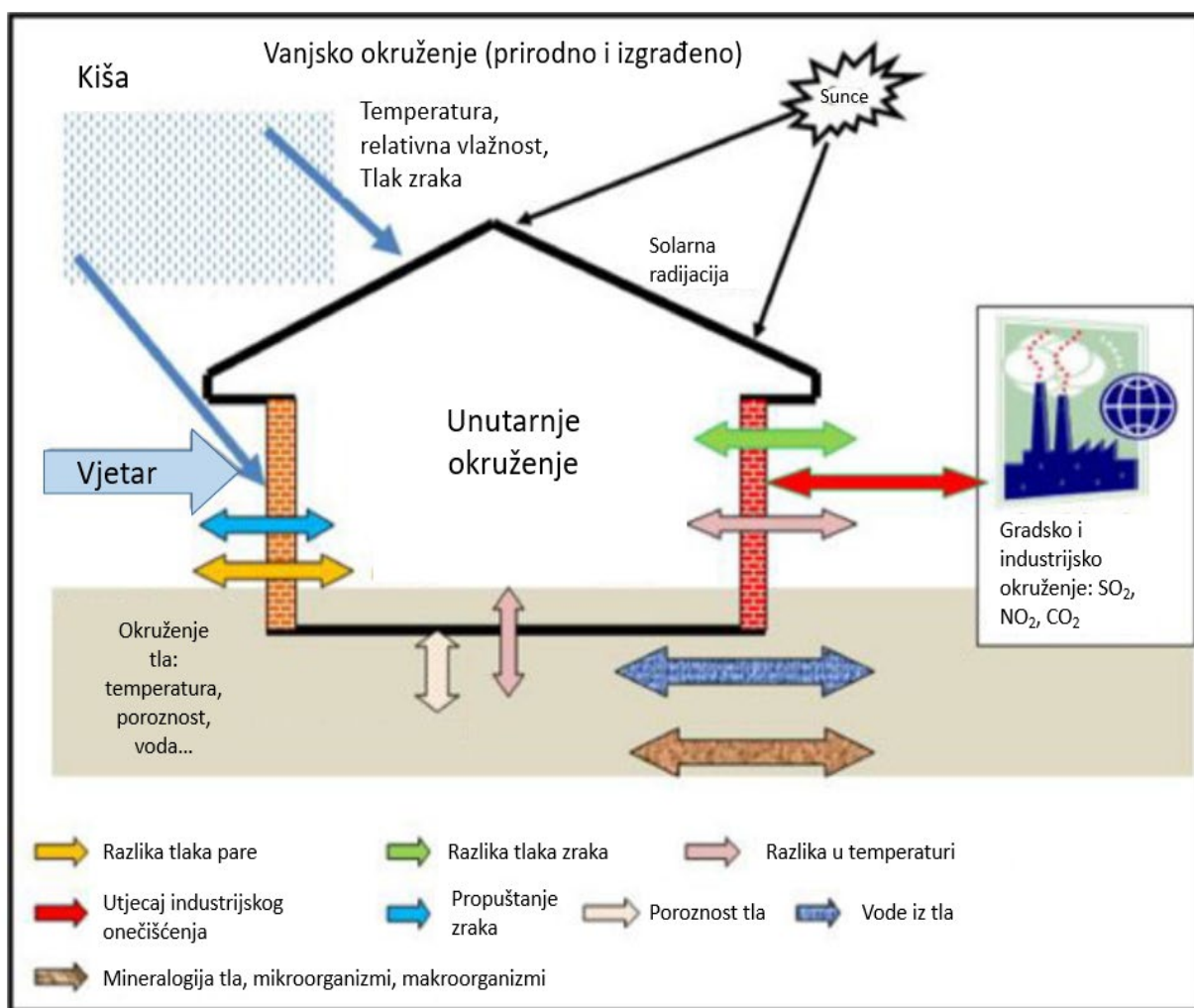
2.2.9. Partnerstvo u ciljevima

Prepreke održivom izgrađenom okolišu nisu tehnička rješenja, već način na koji učinkovito surađujemo, osiguravajući da su naši zajednički naponi uistinu usklađeni za postizanje puno većeg učinka. Građevinskoj industriji je nedostajao kolektivni glas na svjetskoj pozornici na velikim konferencijama o klimatskim promjenama i često nije bila prepoznata unatoč ogromnim mogućnostima koje pruža. Godine 2015. postignuta je značajna prekretnica kada su se WorldGBC, UNEP, francuska vlada i nekoliko drugih organizacija okupili kako bi održali prvi svjetski Dan zgrada kao dio službenog COP21 dnevnog reda i pokrenuli Globalnu alijansu

za gradnju i izgradnju. Četvrti dan Konferencije Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama COP21 imao je temu Dana zgrada i doveo je do pokretanja Globalnog saveza za zgrade i graditeljstvo, osmišljenog za povećanje niskougljičnog razvoja u sektoru graditeljstva i razvoj zelenog zgradarstva. Osamnaest zemalja uključujući Austriju, Brazil, Kamerun, Kanadu, Finsku, Francusku, Njemačku, Indoneziju, Japan, Meksiko, Maroko, Norvešku, Senegal, Singapur, Švedsku, Tunis, Ukrajinu, Ujedinjene Arapske Emirate, SAD i preko 60 organizacija su dio saveza. Svjetsko vijeće za zelenu gradnju (WorldGBC) ključni je član inicijative i sasvim je predano globalnoj transformaciji tržišta kako bi se postigla nulta stopa emisije ugljika u novogradnji i energetske učinkovite rekonstrukcije postojećeg građevinskog tržišta do 2050. godine.

3. GUBITCI ENERGIJE U ZELENOJ ZGRADI

Vanjske granice građevinskog objekta sastoje se od zidova, vrata, prozora, krovova i podova koji okružuju radni, stambeni ili neki drugi prostor. Ključni elementi koji dijele unutarnji prostor od vanjskog okoliša su zidovi, vanjski prozori, kao i dijelovi krova. Toplinsko-fizikalne karakteristike materijala korištenih prilikom izgradnje i svojstvo nepropuštanja zraka cjelokupne konstrukcije ključne su toplinske karakteristike za projektiranje rubnih dijelova nekog objekta. Toplinska učinkovitost i izmjena energije kroz takve rubne dijelove ima izravan utjecaj na korištenje energije nakon završetka izgradnje zgrade.



Slika 8 Prikaz granica sustava zgrade [11]

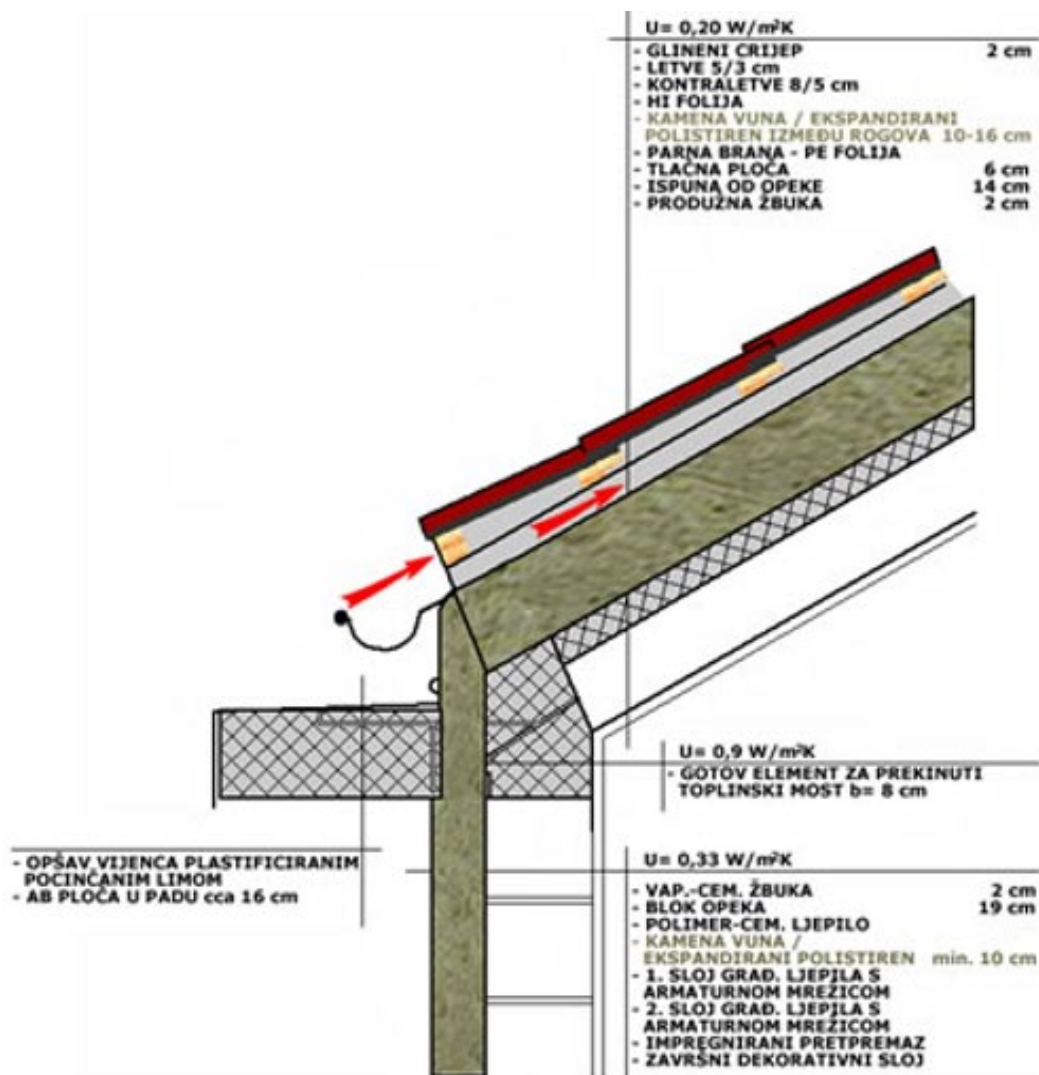
U nastojanju da se analizira utjecaj dizajna i izgradnje granica sustava zgrade na održivost zgrade, važno je pozabaviti se temeljnom ulogom koncepta održivog razvoja u održivosti zgrade. Granica zgrade je glavna komponenta u zgradi odgovorna za sposobnost zgrade da zaštiti unutarnji prostor od vanjskih utjecaja okoliša. To je sučelje između vanjskog i unutarnjeg okruženja. Granica zgrade štiti unutrašnjost i njezine ugodne uvjete od štetnih utjecaja okoliša i posljedično regulira potrošnju energije, potrošnju resursa i dugotrajnost materijala od kojih je zgrada izgrađena. Osim svojih zaštitnih i regulacijskih funkcija, granica zgrade kontrolira sunčev utjecaj i toplinski protok, kao i protok vlage u zgradu i iz nje. Također kontrolira kvalitetu zraka u zatvorenom prostoru, vatrootpornost, otpornost na vjetar i kišu te akustične učinke na zgradu. To ukazuje na potrebu da se granični dio zgrade učini održivim kao alternativni pristup za postizanje održivosti same zgrade. Međutim, postoji potreba da se promotre utjecaji okoliša na granice zgrade jer su itekako povezani s održivošću zgrade. Regulacijske aktivnosti granica zgrade pomažu u postizanju održivosti zgrade štiteći zgradu od utjecaja okoline kao što su vjetar, kiša, temperaturna razlika, razlika tlaka pare, industrijsko onečišćenje, sunčevo zračenje i temperatura tla. Utjecaj na okoliš važan je čimbenik održivosti koji utječe na druge čimbenike održivosti kao što su energetska učinkovitost, učinkovitost materijala i vanjska korist zgrade u smislu uvjeta udobnosti. [27]

| $Q''_{H,nd,ref}$ | kWh/(m ² a) |
|------------------|------------------------|
| A+ | ≤ 15 |
| A | ≤ 25 |
| B | ≤ 50 |
| C | ≤ 100 |
| D | ≤ 150 |
| E | ≤ 200 |
| F | ≤ 250 |
| G | > 250 |

Slika 9 Energetska učinkovitost zgrada [28]

3.1. Gubici energije putem krova

Potrošnja energije kao rezultat gubitka topline preko krova odgovorna je za gotovo 8-10 % ukupne potrošnje energije višekatnih struktura. Nekoliko elemenata, kao što su tip zgrade, izolacija, boja, debljina, kao i toplinska otpornost, utječu na toplinsku učinkovitost krova. Model uštede energije za krovove kuća s nultom potrošnjom energije stoga mora biti vođen iduće navedenim principima: odabirom novih i boljih izolacijskih materijala, kao i većom tlačnom čvrstoćom. Istraživanje u Aziji na krovovima nultoenergetskih struktura uglavnom se bavilo pojmom učinkovitosti toplinske izolacije. Ustanovljeno je kako će poboljšanje učinkovitosti toplinske izolacije krovova, bez dvojbe, minimizirati gubitak topline. [29]



Slika 10 Toplinska izolacija masivne krovne konstrukcije [30]

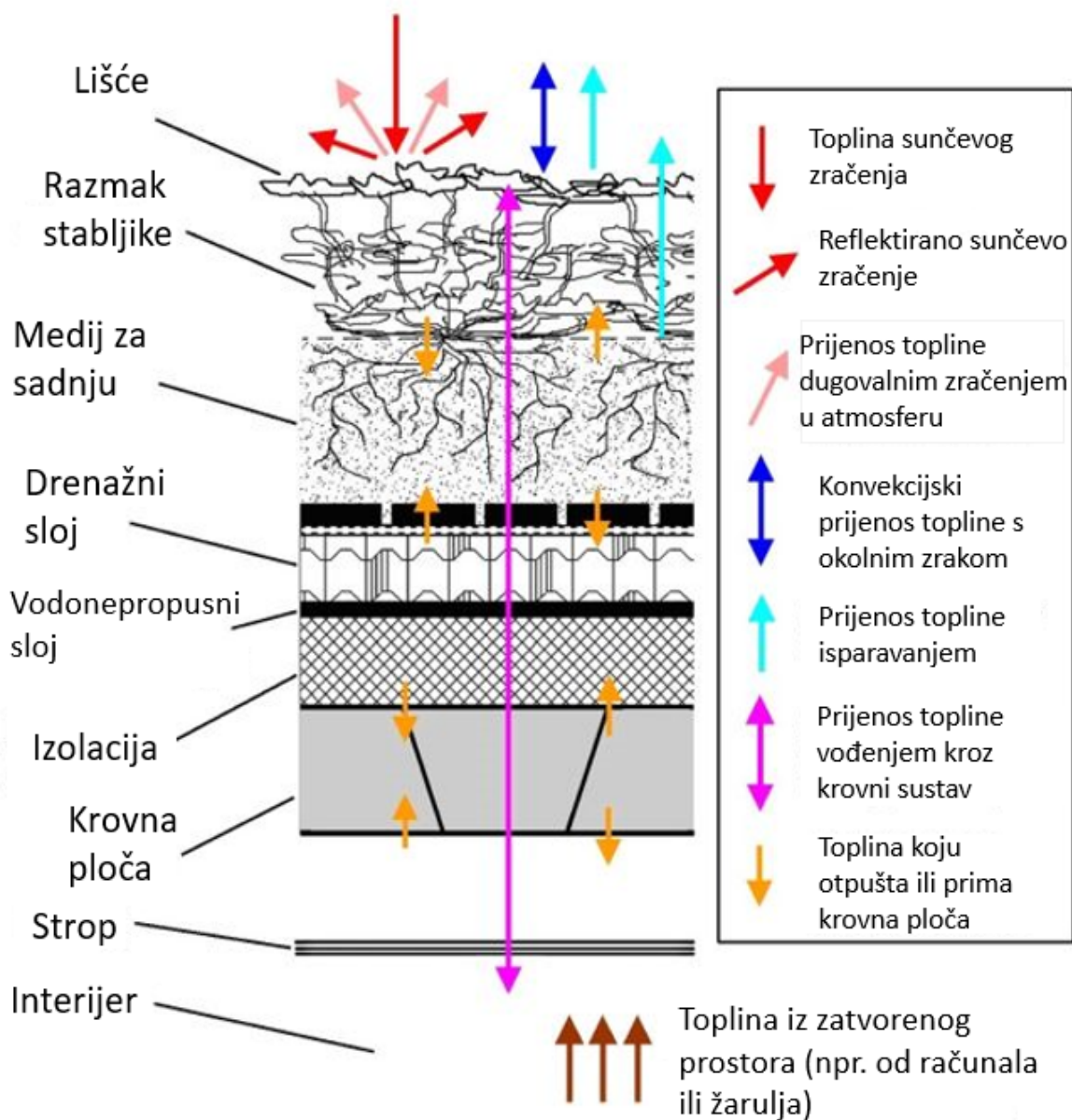
Krov zgrade koji je u cijelosti ili djelomično prekriven slojem vegetacije poznat je kao zeleni krov. Zeleni krov je slojeviti sustav koji se sastoji od hidroizolacijske membrane, podloge za uzgoj i samog vegetacijskog sloja. Zeleni krovovi često uključuju sloj barijere za korijenje, sloj drenaže i, gdje klima zahtijeva, sustav za navodnjavanje. Zeleni krov nudi zgradi i okolnom okruženju mnoge prednosti:

- smanjenje učinka urbanog toplinskog toka
- upravljanje oborinskim vodama
- poboljšanu kvalitetu otjecanja vode
- ojačanu i bolju zvučnu izolaciju
- smanjenje energije potrebne za održavanje unutrašnje klime
- poboljšanu kvalitetu zraka
- produženje vijeka trajanja krova.

Ostale prednosti također uključuju povećani arhitektonski interes i biološku raznolikost. Zeleni krovovi hlade se kroz poboljšanu refleksivnost upadnog sunčevog zračenja i gubitak latentne topline. Zeleni krovovi hlade jednako učinkovito kao najsvjetliji mogući bijeli krovovi, s ekvivalentnim refleksivnim faktorom (albedom) od 0,7-0,85 u usporedbi s tipičnim vrijednostima 0,1-0,2 koje ima krov sastavljen od bitumena, katrana i šljunka. Potpuno bijelo tijelo odrazilo bi svu svjetlost i imalo albedo jednak jedan, a apsolutno crno tijelo ne bi odrazilo ništa i imalo bi albedo jednak nuli. Mjerenjem se ustanovilo da se zagrijavanje prostora kroz zeleni krov smanjilo za prosječno 70-90 % ljeti, a gubitak topline se smanjio za 10-30 % zimi. Zeleni krovovi također pomažu i u ublažavanju utjecaja oborinskih voda obnavljanjem vegetacije. Mogu apsorbirati vodu i polako je otpuštati tijekom određenog vremenskog razdoblja za razliku od konvencionalnog, tj. običnog krova gdje se oborinska voda odmah ispušta. Kišnica s konvencionalnog krova sadrži veće količine brojnih teških metala i štetnih tvari zbog otjecanja tokom kojeg se skupljaju čestice onečišćujućih tvari dok voda teče preko krova. Zeleni krovovi, s druge strane, neće stvarati nikakve zagađivače, već umjesto toga mogu ukloniti neke nečistoće u kišnici kao što su dušik ili fosfor, kemijskih ih vezati s nekim vrstama čestica tla, prije nego što uđu u sustav kanalizacije podzemnih voda. Primjena zelenog krova

može povećati zvučnu izolaciju krova i pomaže u smanjenju širenja zvuka kroz krovni sustav u unutrašnjost zgrade, kao što je buka zračnog prometa. Štoviše, zeleni krov također se smatra učinkovitom strukturom za smanjenje onečišćenja bukom koje proizlazi iz cestovnog i željezničkog prometa apsorpiranjem zvučnih valova koji difraktiraju preko krovova. Jedno od bitnih obilježja je to da zeleni krov djeluje na smanjenje gubitka topline iz zgrade u hladnoj klimi. Ljeti zeleni krovovi smanjuju protok topline kroz krov fizičkim zasjenjivanjem krova, promicanjem evapotranspiracije i povećanjem izolacije i toplinske mase. Tako pridonose smanjenju korištenja električne energije za klimatizaciju. Isto tako, zeleni krovovi pomažu i u produljenju vijeka trajanja krova. Naime, hidroizolacijski slojevi postaju krhki kada se brzo izlože ultraljubičastom (UV) svjetlu. I ne samo to, velike amplitude temperature krova će uzrokovati širenje i kontrakciju i lako oštetiti takve slojeve. Fizički ih štiteći, zeleni krovovi produljuju njihov životni vijek. Ispravan hidroizolacijski sloj u kombinaciji sa zelenim krovom može produžiti njihov vijek trajanja za više od 20 godina. [31]

Slika 11 i Tablica 3 potpuno definiraju opisani pojam zelenog krova.



Slika 11 Prijenos topline zelenog krova [32]

Tablica 3 Toplinsko-fizikalna svojstva slojeva zelenog krova [33]

| | Debljina sloja / mm | Materijal | Toplinska provodnost, $\lambda / \frac{W}{mK}$ | Gustoća, $\rho / \frac{kg}{m^3}$ | Specifični toplinski kapacitet, $c_p / \frac{J}{kgK}$ |
|---|---------------------|-------------------------|---|----------------------------------|---|
| Vegetacija i supstrat tla | 150 | šljunak, kompost | 0,17 – suho, 0,33 - vlažno | 582 | 1000 |
| Filter folija | 1 | polipropilen | 0,22 | 910 | 1900 |
| Element za odvodnju i ventilaciju | 2 | polietilen | 0,38 | 950 | 2300 |
| Zrak (unutar elementa za odvodnju) | 23 | zrak | Koeficijent prijelaza topline, $\alpha / \frac{W}{m^2K}$, iznosi 0,16 | | |
| Sloj za zadržavanje vode | 4 | polipropilen | 0,22 | 910 | 1900 |
| Krovni pokrivač | 1 | bakar | 380 | 8900 | 382 |
| OSB ploča* | 15 | OSB | 0,13 | 630 | 2200 |
| Izolacija | 120 | ekspandirani polistiren | 0,035 | 25 | 1470 |
| Krovna ploča | 50 | drvo jele | 0,12 | 550 | 2700 |

* OSB, engl. *Oriented Strand Board* – usmjerena vlaknasta ploča

3.2. Gubitci energije kroz zidove

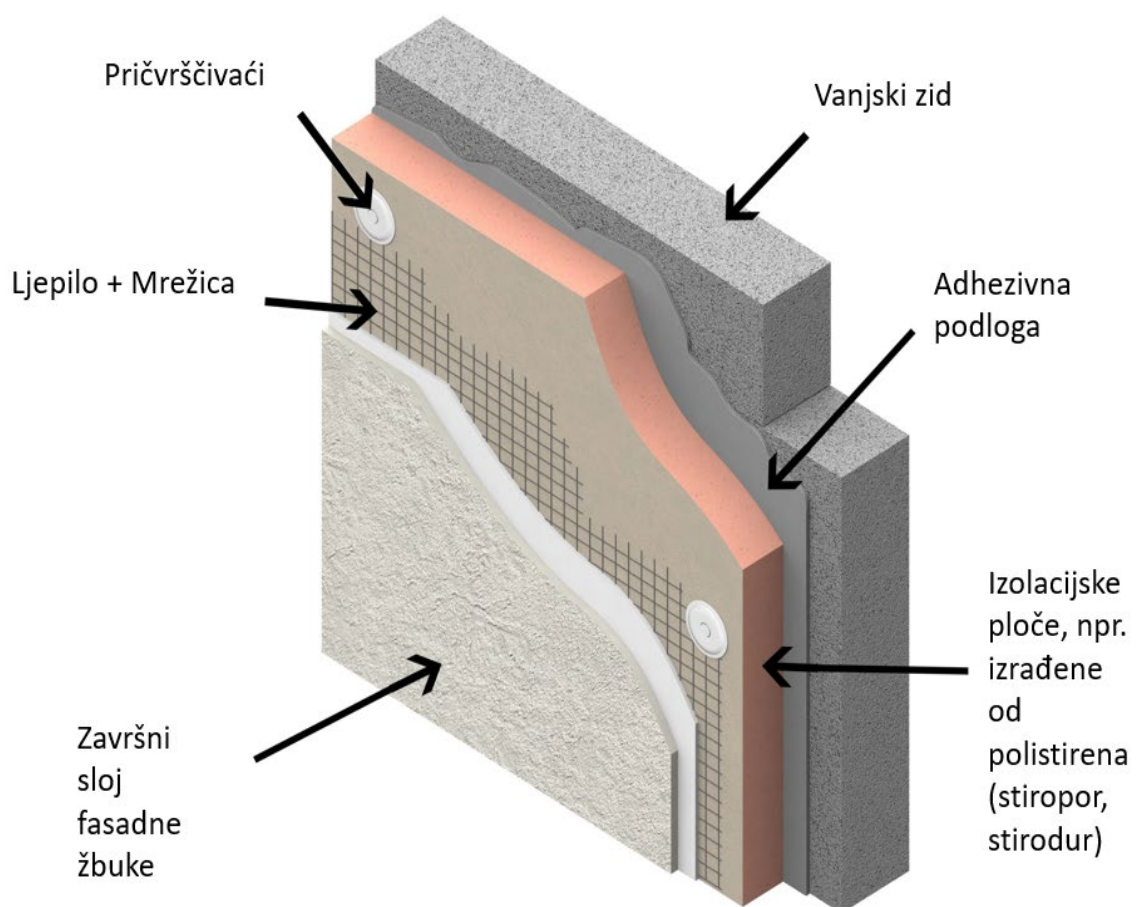
Otpriblike 30 % ukupne potrošnje energije u izgrađenim objektima je energija koja se koristi zbog gubitka topline s vanjske stijenke. Stoga je povećanje toplinske učinkovitosti zida kritičan korak za očuvanje energije u zgradama. Trenutno je primjena metode izolacije vanjskih zidova prevladavajuća tehnika uštede energije za strukture s nultom energijom. U 1980-ima započela su istraživanja o očuvanju energije za strukturalne zidove u Kini. Što se tiče oblika zida, većina struktura nulte energije, posebno u Kini, sada koristi nove vrste zidova. Na primjer, zgrada 000 PK, Sveučilišta znanosti i tehnologije Huazhong obuhvatila je razvoj zidova šupljih oblika. Daljnja istraživanja su pokazala da se koeficijent toplinskog prolaza zida može unaprijediti na iznos od $0,078 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Za vanjski zid zgrade Eco-House u Šangaju uveden je reciklirani zidni materijal sastavljen od krutog otpada, čime je smanjeno opterećenje grijanja i hlađenja konstrukcije. Prikupljeni nalazi pokazali su da je idealan za korištenje u regijama sa značajnim temperaturnim varijacijama.

Učinkovitost različitih izolacijskih materijala uvelike se razlikuje kada se koriste u zidu. To obično dovodi do raznih prednosti uštede energije. Ključna komponenta vanjskog zida s velikim utjecajem na potrošnju energije kuće je debljina izolacije. Postoji idealna debljina izolacije koja povećava energetske učinkovitost zgrade. Kako bi se istražila idealna debljina izolacije za vanjske zidove pasivne niskoenergetske kuće u ekstremno hladnoj zoni, provedena je teorijska procjena troškova životnog ciklusa. Utvrđeno je da optimalna debljina izolacijskog sloja od ekspaniranog polistirena (EPS) iznosi 220 mm. [11]

3.2.1. Pasivna zidna toplinska izolacija

Kao najefikasniji i cjenovno najprihvatljiviji postupak, danas se sve više koristi lijepljenje polistirenskih ploča na vanjske zidove zgrada. Nebitno radi li se o zidovima od cigle ili od betona, nanošenjem adhezivne podloge stvara se skoro potpuno ravna površina na koju ploče mogu savršeno prijanjati. Nakon toga potrebno ih je pričvrstiti udarnim tiplama s plastičnim trnom da se ne mogu micati tokom daljnjih građevinskih radova. Potom, na ploče se nanosi sloj građevinskog ljepila za fasadu. Poslije toga se nanosi armaturna mrežica od staklenih vlakana koja mora biti u vanjskoj trećini armirajućeg sloja ljepila. Dakle, prvo se na izolacijsku ploču

kamene vune ili stiropora, zupčastim gletrom nanosi propisani polimerno-cementni mort u debljini 3 mm, u koji se „utapa“ mrežica. U roku od 24 sata mora se izvesti pokrivni sloj istog glet PC morta u debljini 1 do 2 mm na način da se obrisi mrežice ne vide. Slika 12 pokazuje nam kako zapravo izgleda jedan zid na kojem je primijenjena pasivna toplinska izolacija.



Slika 12 Izolacija vanjskog zida [34]

■ Preporučene primjene

| Styrodur® C | 2500 C | 2800 C | 3035 CS | 3035 CN | 4000 CS | 5000 CS |
|---|--------|--------|---------|---------|------------------|---------|
| Jako opterećene podne ploče* | | | ■ | | ■ | ■ |
| Klasični podovi | ■ | ■ | ■ | | | |
| Jako opterećeni podovi | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| Perimetarske* podne ploče | | | ■ | | ■ | ■ |
| Perimetarski* podrumski zidovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Perimetarska* /podzemna vodena područja | | | ■ | | ■ | ■ |
| Dvostrani zidovi sa šupljinom | ■ | | ■ | ■ | | |
| Unutarnji zidovi | | ■ | | | | |
| Izgubljena oplata | | ■ | | | | |
| Toplinski mostovi | | ■ | | | | |
| Vanjska izolacija podrumskog zida | | ■ | | | | |
| Podloga za žbuku | | ■ | | | | |
| Obmuti ravni krovovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Duo krovovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Plus krovovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Parkirne površine | | | | | ■ ⁽¹⁾ | ■ |
| Promenadni krovovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Krovni vrtovi | | | ■ | | ■ | ■ |
| Klasični ravni krovovi | ■ | | ■ | | ■ | ■ |
| Pregradni zidovi | ■ | ■ | ■ | | | |
| Kosi krovovi | ■ | ■ | | ■ | | |
| Stropovi | | | | ■ | | |
| Lamelirane gipsane ploče | | ■ | | | | |
| Sandwich paneli | ■ | ■ | | | | |
| Skladišta | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ceste i tračnice | | | ■ | | ■ | ■ |
| Klizališta | | | ■ | | ■ | ■ |

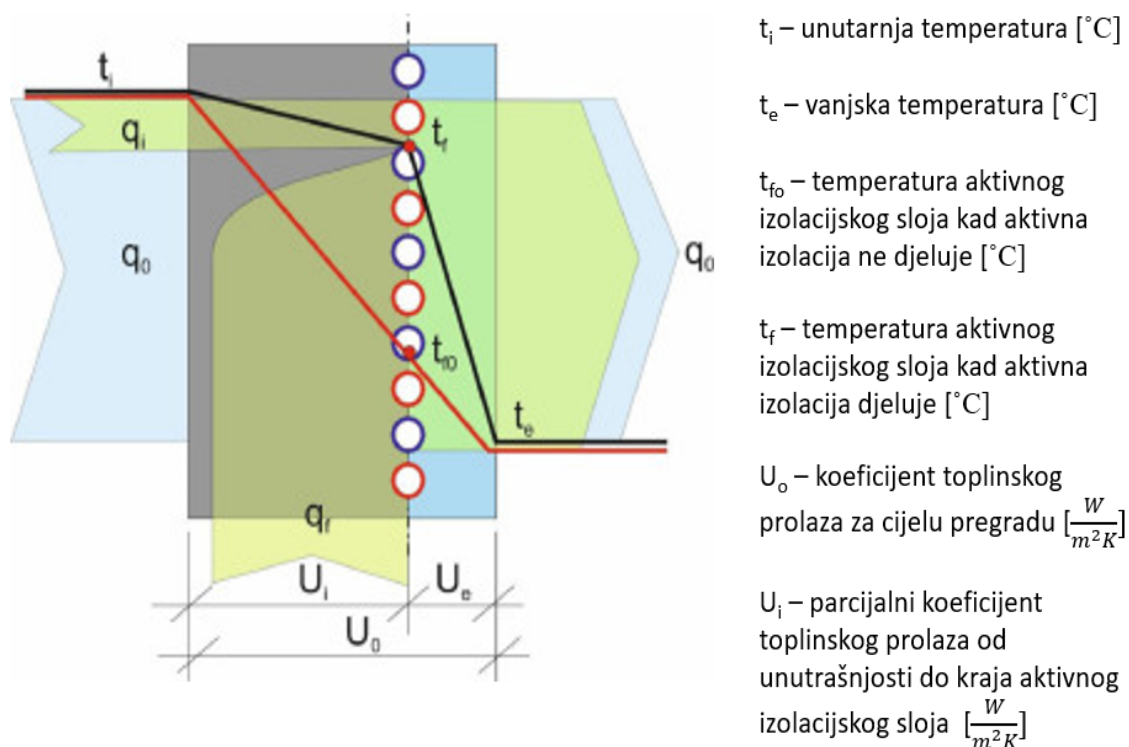
Styrodur® C: Ekstrudirana polistirenska pjena u skladu
sa DIN EN 13164
Bez CFC, HCFC, i HFC

Slika 13 Primjena ploča od ekstrudiranog polistirena komercijalnog naziva styrodur [35]

3.2.2. Aktivna zidna toplinska izolacija

2019. godine provedeno je istraživanje na temelju kojega su se dobili rezultati koji opisuju razliku između aktivnog i, dosadašnjeg, pasivnog načina izoliranja zidova. Preliminarni rezultati i analize istraživanja provedeni su u eksperimentalnoj stambenoj zgradi smještenoj u gradu Nyiregyhaza u Mađarskoj. Zgrada je opremljena inovativnim sustavom za izravno spajanje izmjenjivača topline iz zemlje sa zidnim izmjenjivačem topline. 2012. godine tvorca sustava Tamas Barkanyi patentirao je aktivnu toplinsku izolaciju zgrada. Istraživačkim radom, skupina inženjera pokušala je odgovoriti na pitanje u kojoj mjeri aktivni izolacijski sustav može zamijeniti uobičajene standardne pasivne izolacijske sustave. Početni rezultati istraživanja upućuju na zaključak da aktivna toplinska izolacija značajno poboljšava izolacijske parametre vanjskog zida. U analiziranim razdobljima smanjenje ukupnog iznosa toplinskih gubitaka kroz vanjske zidove bilo je s 53 % u veljači na 81 % u studenom. Ekvivalentni koeficijent toplinskog prolaza analiziranog zida ovisio je o lokalnim klimatskim uvjetima i iznosio je $0,047 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ u studenom i $0,11 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ u ožujku, dok je standardna vrijednost bila $0,282 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Dobiveni pozitivni rezultati istraživanja trebali bi biti temelj za implementaciju inovativnog sustava u zgradama s nultom emisijom energije, tj. u svakom obliku zelenih zgrada. Uvođenje toplinske barijere, odnosno aktivnog izolacijskog sloja u strukturu vanjskih pregrada zgrade smanjilo bi gubitke topline kroz vanjske pregrade, a ujedno bi koristilo energiju iz nekonvencionalnih izvora. Takav sustav ne zahtijeva rad toplinske crpke, što značajno smanjuje njegove troškove u odnosu na sustave površinskog grijanja koji se temelje na radu pumpe. Aktivna toplinska izolacija smanjuje gubitak topline kroz vanjske pregrade iako ne može zamijeniti sustav grijanja. Toplinska barijera ili aktivna toplinska izolacija je sustav cijevi postavljenih unutar strukture granice zgrade, tj. zidova u kojoj cirkulira medij za grijanje i hlađenje, opskrbljen energijom niske temperature iz tla. Rad aktivne toplinske barijere ne temelji se na izravnom prijenosu energije niske temperature u prostorijsku, već je povezan s povećanjem (ili smanjenjem tijekom ljeta) temperature unutar graničnog sloja zgrade. Osnovni princip aktivne izolacije je da koristi energiju medija na temperaturi nižoj od temperature unutarnje prostorije, ali na višoj od temperature vanjskog zraka. [36]

Opisani sustav aktivne zidne toplinske izolacije bolje se može promotriti i shvatiti ako se pogleda Slika 14.

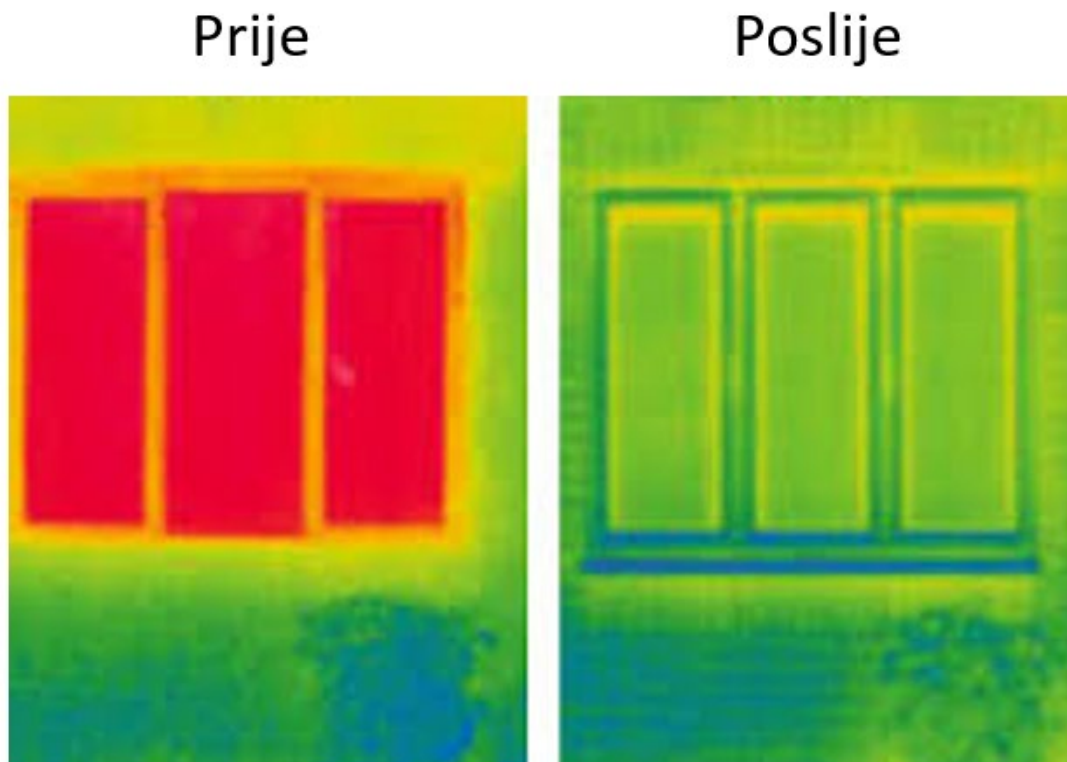


Slika 14 Prikaz aktivnog izolacijskog sloja [36]

3.3. Gubitak topline kroz profile vrata i prozora

Prozori i vrata najviše su izraženi elementi koji se suprotstavljaju prijenosu topline preko graničnog sloja zgrade i okoliša. Potrošnja energije zbog gubitka topline uzrokovanog lošom izolacijom profila prozora i vrata iznosi približno 24 % ukupne energetske potražnje zgrade. S obzirom da ne zauzimaju toliku površinu pročelja zgrade kao zidovi, a puno topline se gubi preko njih, može se zaključiti da se znatne količine energije mogu uštedjeti ako se koriste profili koji imaju bolja izolacijska svojstva. Ključni čimbenici koji utječu na potrošnju energije takvih

profila prozora i vrata su koeficijent prolaza topline, položaj, kao i omjer površina prozora i zidova. [11]



Slika 15 Infracrveni prikaz smanjenog gubitka energije nakon postavljanja profila prozora boljih izolacijskih svojstava [37]

3.3.1. Koeficijent prolaza topline profila prozora i vrata

Tri su osnovna načina kako se toplina izmjenjuje između dvaju tijela ili pojedinih dijelova nekog tijela:

- provođenje ili kondukcija
- konvekcija
- zračenje ili radijacija.

Slika 5 iz prethodnog poglavlja daje izvrsno objašnjenje za svaki od načina izmjene topline.

Provođenje topline je način izmjene topline svojstven tijelima čije su osnovne čestice (atomi, molekule) vezane uz svoj položaj i ne mogu se znatnije pomaknuti s mjesta na kojem se nalaze u strukturi tijela. Toplina se provođenjem prenosi na razini atoma ili molekula jer molekule više temperature imaju veću kinetičku energiju i tako predaju energiju molekulama niže temperature. Tako je tok energije usmjeren s čestica više temperature prema česticama niže temperature. Slobodni elektroni kod metala jako pridonose takvom prijenosu energije pa su zato metali izrazito dobri vodiči topline.

Konvekcija je način izmjene topline pri kojemu makroskopske čestice neke tekućine putuju i pritom energiju koju posjeduju (kao entalpiju) prenose i predaju izravnim dodirrom drugim (hladnijim) česticama tekućine ili stijenci na koju naiđu. Konvekcija je zbog gibanja čestica intenzivniji način izmjene topline od provođenja.

Zračenje je način izmjene topline skroz različit od provođenja i konvekcije. Zračenjem se energija širi elektromagnetskim valovima različitih valnih duljina. Kako bi se ti valovi mogli širiti u prostor, na njihovom putu mora biti proziran medij, a to može biti vakuum, ali i neki plin. Dakle, tu energije nije vezana za tvar i širi se bez posredovanja tvari između polaska s jednoga tijela i dolaska na drugo. Tim načinom, energija može putovati kroz prostor koji nema definiranu temperaturu (vakuum) ili temperatura plina koji je proziran i propušta zrake može biti i veća i manja od temperature onog tijela koje šalje i onoga koje prima zrake. Zaključno, idući kroz prostor od toplijeg prema hladnijem tijelu, temperatura ne mora monotono padati u smjeru protoka energije (toplina). [38]

Pojam koeficijenta prolaza topline sastoji se zapravo od više toplinskih otpora spojenih u jednu veličinu. Koeficijent prolaza topline uzima u obzir provođenje topline i konvekciju, a označava se slovom k te je njegova mjerna jedinica $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$. Jednostavno ga je opisati jednadžbama (1) i (2) koje daju informacije o koeficijentu prolaza topline kroz ravnu stijenku. [38]

$$q = k (\vartheta_{\infty a} - \vartheta_{\infty b}) \quad (1)$$

gdje je:

| | | |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| q | W m^{-2} | gustoća toplinskog toka |
| k | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ | koeficijent prolaza topline |
| $\vartheta_{\infty a}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura medija „a“ |
| $\vartheta_{\infty b}$ | $^{\circ}\text{C}$ | temperatura medija „a“ |

Druga jednadžba predstavlja način izračunavanja koeficijenta prolaza topline za višeslojnu stijenku.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_b}} \quad (2)$$

gdje je:

| | | |
|-------------|---------------------------------|--|
| α_a | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ | koeficijent prijelaza topline za medij „a“ |
| δ_i | m | debljina stijenke |
| λ_i | $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ | toplinska provodnost materijala stijenke |
| α_b | $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ | koeficijent prijelaza topline za medij „b“ |

Iako imaju isti naziv koji slično zvuči i jednake mjerne jedinice, koeficijent prijelaza topline α i koeficijent prolaza topline k ne smiju se miješati.

Radi li se o istodobnoj izmjeni topline zračenjem i konvekcijom, tada se takav slučaj može također opisati jednadžbom (3) uzimajući u obzir koeficijente prijelaza topline za konvekciju i zračenje. [38]

$$\Phi_{uk,1} = \Phi_{k,1} + \Phi_{zr,1} = A_1 \alpha_{k,1} (T_1 - T_{\infty}) + A_1 C_{1-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

gdje je:

| | | |
|----------------|-----------------------------------|---|
| $\Phi_{uk,1}$ | W | ukupni toplinski tok koji predaje ili prima, primjerice, stijenka 1 |
| $\Phi_{k,1}$ | W | toplinski tok izmijenjen konvekcijom |
| $\Phi_{zr,1}$ | W | toplinski tok izmijenjen zračenjem |
| A_1 | m ² | površina stijenke 1 |
| $\alpha_{k,1}$ | W m ⁻² K ⁻¹ | koeficijent prijelaza topline stijenke 1 |
| T_1 | K | temperatura stijenke 1 |
| T_∞ | K | temperatura medija koji struji |
| C_{1-2} | / | konstanta koja ovisi o modelu izmjene topline zračenjem |
| T_2 | K | temperatura stijenke 2 |

3.3.2. Omjer površina prozora i zida

To je, najjednostavnije rečeno, omjer onih površina koje su ostakljene i površina svih zidova koje dijele unutrašnjost zgrade od okoline (engl. *window-to-wall ratio* – WWR). U proračun se uzimaju i oni zidovi na kojima prozori nisu postavljeni. Korištenje sunčeve svjetlosti, prirodne cirkulacije zraka i iskorištavanje sunčeve energije u zgradama uglavnom se obavlja putem stijenki profila prozora i njihovim otvaranjem za provjetravanje. Stoga je za uštedu energije važno odrediti optimalni omjer prozora i zidova na temelju uzoraka promjena lokalnih vremenskih uvjeta. [11]

$$OPZ = \frac{\sum PO}{\sum ZP} \cdot 100 \quad (4)$$

gdje je:

| | | |
|-----|----------------|--|
| OPZ | % | omjer površina prozora i zidova |
| PO | m ² | ukupna ostakljena površina |
| PZ | m ² | ukupna površina zidova (računaju se i oni koji nemaju prozore) |

3.3.3. Položaj prozora na pročeljima zgrade

Skupina stručnjaka je u Kanadi provela istraživanje o tome kako se međusobni utjecaj veličine, položaja i orijentacije prozora odrazio na potrošnju energije zgrade. U tu svrhu kreirali su 65 različitih konfiguracija postavljanja prozora koje se razlikuju po veličini prozora, položaju i orijentaciji. Informacijski modeli zgrada kreiraju se za svaki zasebni slučaj putem programa Autodesk Revit i koriste se za izračun ukupne energetske potrošnje. U prvoj fazi analize proučavali su omjer prozora i zidova (WWR) i položaj prozora kako bi se procijenio njihov učinak na energetske potrošnje. Koristeći ove rezultate, u sljedećoj fazi, proučavali su položaj prozora s različitim orijentacijama kako bi se procijenilo na koji način se energetska potrošnja mijenja u takvim slučajevima.

Rezultati pokazuju da zgrada gubi najmanje energije kada su prozori smješteni na sredini zida što se tiče visine, a položaj prozora na istočnome pročelju najviše utječe na ukupne energetske gubitke. [40]

4. IZBOR MATERIJALA ZA PROFILE PROZORA I VRATA

U ovom poglavlju razmatrat će se korištenje prikladnih materijala za proizvodnju profila prozora i vrata. Svaki materijal ima svoje prednosti i mane, a kao jedno od bitnijih obilježja treba razmotriti i mogućnost recikliranja jer se danas sve više cijeni mogućnost održive gradnje i proizvodnje zbog ekoloških uvjeta.

4.1. Osnovne skupine kriterija za izbor materijala

Kriteriji vezani uz materijale javljaju se u početnim fazama kreiranja proizvoda, od pojave ideje pa sve do njezina oblikovanja i postavljanja zahtjeva na proizvod. Jedan dio kriterija odnosi se samo na materijal (npr.: toplinska vodljivost, magnetičnost, prozirnost, kemijska postojanost i sl.), dok je drugi dio vezan uz željene karakteristike proizvoda (npr. mala masa, niska cijena, dobra nosivost, trajnost i dr.). Za početak je uvijek dobro uočiti koja se svojstva traže samo od materijala jer se time olakšava neovisno odlučivanje i optimiranje u skupu točno određenog skupa materijala.

Sedam osnovnih skupina kriterija za izbor materijala pri razvoju proizvoda su [41]:

- Svojstva funkcionalnosti (sastavljena je od ukupnih uvjeta koji definiraju ostvarenu funkciju proizvoda u tokom korištenja, odnosno njegov zadatak, a to mogu biti: dimenzijske promjene, degradacija integriteta površine, lom, trajnost, otpornost na trošenje, nosivost itd.).
- Eksploataбилnost (strogo uvjetovana svojstvima funkcionalnosti).
- Tehnologičnost (kompleksan uvjet koji sadrži prikladnost materijala za preoblikovanje, opis svakog zasebnog proizvodnog postupka, karakteristike opreme, znanje i iskustvo ljudi te cijenu izrade ili montaže).
- Karakteristike recikličnosti i uništivosti (sadrže uvjete koji opisuju efikasniju iskoristivost otpadnog materijala, cijelog proizvoda ili nekog njegovog dijela, kao i smanjenje zagađenja okoliša).
- Raspoloživost, nabavljivost i cijena (govore o sadašnjem tržišnom stanju i svojstvima materijala).
- Normiranost – standardnost (odnose se biranje materijala normiranih svojstava, tj. onih koji se najviše proizvode i mogu se lako nabaviti).

- Estetičnost i taktilnost (karakterizirani su dimenzijskim balansom, bojom, intenzitetom sjajnosti, stanjem površine, ljudskom percepcijom te osjećajem dodira materijala, zvukom koji proizvod emitira tokom korištenja i dr.).

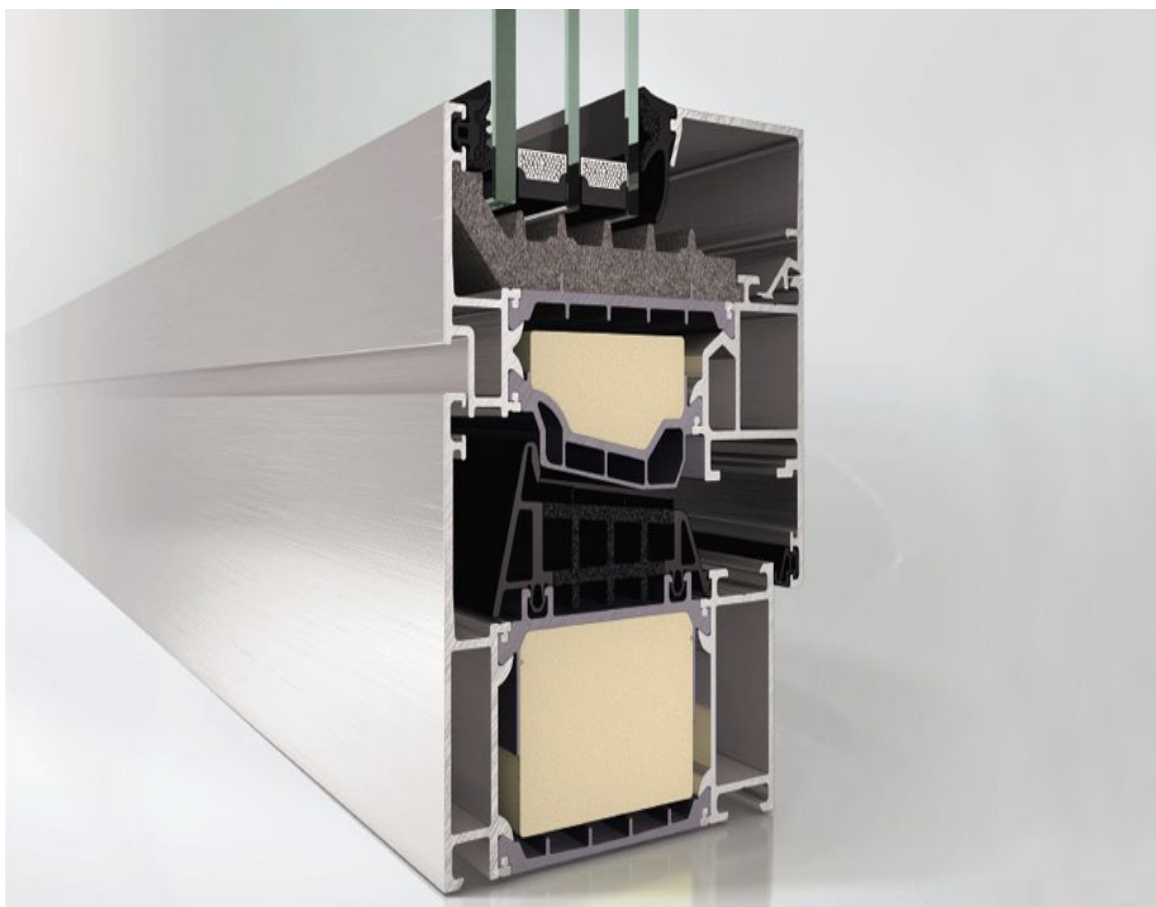
U mnogim situacijama ne mogu biti skroz ispunjeni svi zahtjevi pa se pretežito traži kompromisno ostvarenje nekoliko njih. Zato se tokom izbora materijala traži najbolje rješenje u zadanim uvjetima, odnosno za neku postojeću i ostvarivu kombinaciju traženih svojstava materijala. Shodno tome, izbor materijala svodi se na složeni problem optimalizacije. [41]

4.2. Materijali koji se koriste u proizvodnji profila prozora i vrata

U 13. stoljeću prije Krista, najraniji prozori bili su neostakljeni otvori na krovu koji su propuštali svjetlost tijekom dana. Kasnije, prozori su bili prekriveni životinjskom kožom, tkaninom ili drvetom. Sljedeći su bili prozori od drvenih ploča koji su se mogle otvarati i zatvarati. S vremenom su izgrađeni prozori koji su istovremeno propuštali svjetlost i štitali stanovnike od nepovoljnih vremenskih uvjeta. Rimljani su bili prvi za koje se znalo da su koristili staklo za izradu prozora. Takva tehnologija se vjerojatno prvi put primjenjivala u rimskome Egiptu. Naime, u gradu Aleksandriji, prozori od stakla, premda loših optičkih svojstava, počeli su se pojavljivati oko 100. godine, ali to su bile male debele konstrukcije kroz koje se nije moglo ništa vidjeti. Prošlo je više od tisućljeća prije nego što je prozorsko staklo postalo dovoljno prozirno da bi se moglo jasno vidjeti kroz njega, otprilike kao što to izgleda danas. [42]

Za izradu profila, tj. okvira prozora i vrata danas se koriste idući materijali:

- legure aluminijske
- čelici
- drvo
- drveni kompoziti
- (poli)vinil-klorid, tj. PVC
- akrilnitril/butadien/stiren, tj. ABS
- polimerni kompoziti ojačani staklenim vlaknima.



Slika 16 Alumijski profil s tri staklene stijenke marke Schüco [43]

U završnom dijelu rada slijedi usporedba svojstava materijala koji se najčešće koriste u proizvodnji profila prozora i vrata. Također, razmotrit će se i prednosti i mane svake skupine materijala s pripadnim proizvodnim postupcima profila te će se saznati nešto više o njihovim općenitim svojstvima. Kao posebno zanimljiv materijal za izradu prozorskih profila izdvojio bih polimerne kompozite ojačane staklenim vlaknima jer su široj javnosti praktično nepoznati za razliku od drva, legura aluminija ili PVC-a koji se već godinama koriste u proizvodnji profila.

4.2.1. Aluminij i njegove legure

Tri su najvažnija svojstva aluminija:

- povoljan omjer vlačne čvrstoće i gustoće (R_m/ρ je tzv. specifična čvrstoća) posebno kad se koristi u obliku neke od svojih legura
- omjer električne vodljivosti i gustoće najpovoljniji je među svim metalima
- aluminij ima velik afinitet prema kisiku, a korozijska postojanost mu je relativno velika i na njoj se zasniva primjena aluminija u graditeljstvu.

Tablica 4 Fizikalna i mehanička svojstva aluminija [44]

| Oznaka svojstva | Opis | Mjerna jedinica | Vrijednost |
|----------------------|-------------------------|---------------------|------------|
| ρ | gustoća | kg m ⁻³ | 2700 |
| $t_{\text{talište}}$ | temperatura tališta | °C | 660 |
| E | modul elastičnosti | N mm ⁻² | 69000 |
| α | toplinska rastezljivost | 10 ⁻⁶ /K | 23,8 |
| G | električna vodljivost | S | 36 - 37,8 |
| R_e | granica razvlačenja | N mm ⁻² | 20 - 120 |
| R_m | vlačna čvrstoća | N mm ⁻² | 40 - 180 |
| A | istezljivost | % | 4 - 50 |

Aluminijeva antikorozijska svojstva osniva se na formiranju gustog i nepropusnog oksidnog sloja koji se stvara na površini na zraku i vodenim otopinama. Ako se takav sloj ošteti, istog trena se oksidacijom stvara novi pa je aluminij otporan čak i na koncentriranu dušičnu kiselinu. Postoje ipak i tvari koje razaraju oksidni sloj. Za aluminij su štetne lužine, građevno vapno i mort. Zato se aluminijske dijelove i profile treba zaštititi dok ne prođu građevinski radovi pri kojima se

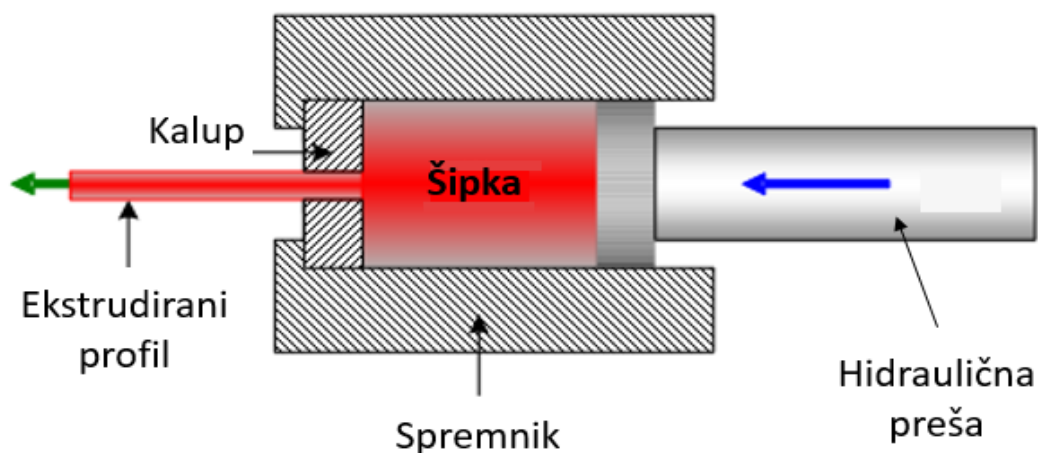
takve štetne tvari koriste. Legiranjem aluminija, u pravilu se smanjuje njegova otpornost koroziji. Najvažniji legirni elementi su bakar, magnezij, silicij, cink i mangan.

Legure aluminija koje se primjenjuju u izradi profila prozora i vrata pa čak i u proizvodnji roleta su:

- AlMn1Mg0,5
- AlMn1Mg1
- AlMgSi0,5
- AlMgSi1.

Zbog vrlo velikog utroška energije pri proizvodnji aluminija, a i iz ekoloških razloga, nastoji se što više iskoristiti otpadni materijal izrađen od aluminija i njegovih legura. Pretaljivanjem se tada dobiva sekundarni aluminij koji se većinom koristi za odljevke. Zbog onečišćenja sekundarnog aluminija ne mogu se postići neka povoljna svojstva kao što je antikorozivnost, a to je posljedica nečistoća u mikrostrukтури. [44]

Aluminijski profili proizvode se postupkom vruće ekstruzije što prikazuje Slika 17. Početni komad aluminija u obliku šipke ugrijava se na temperaturu od približno 500 °C, a za to vrijeme se čelična matrica, tj. kalup zagrijava na radnu temperaturu kako ne bi došlo do nepotrebnog prijelaza topline s alata na obradak. Potom, hidraulični dio stroja potiskuje ugrijanu aluminijsku šipku kroz kalup te se ona formira u željeni profil. Nakon toga, profil se automatiziranim postupkom šalje na jednoliko hlađenje kako bi zadržao povoljna mehanička svojstva. Po mogućnosti može se primijeniti i proces umjetnog dozrijevanja kako bi se mehanička svojstva još više poboljšala.



Slika 17 Proces vruće ekstruzije aluminija [45]

Industrijska proizvodnja aluminijskih profila postupkom ekstruzije je u velikom porastu. Međutim, bilo je malo poboljšanja u procesima kvantificiranja i smanjenja utjecaja procesa ekstruzije na okoliš. Skupina istraživača opisala je kumulativnu potražnju za energijom, emisiju stakleničkih plinova i modele troškova u cjelokupnom postupku ekstruzije aluminija, koristeći podatke prikupljene od tvrtki koje se bave ekstruzijom. To istraživanje pokazalo je da postoji značajna potreba, ali i mogućnost za povećanje energetske učinkovitosti procesa i kvalitete materijala čime bi se ostvario veliki ekološki napredak u samom postupku i srezali bi se troškovi ekstruzije. Nakon toga, provedena je analiza svojstava aluminijskih šipki koje se nabavljaju, a upravo one služe kao sirovina, tj. materijal koji prolazi kroz matricu i tvori profil. Na taj način su se istaknule mogućnosti za efikasniju uporabu materijala u cijelom opskrbnom lancu. Analiza otkriva da se oko 40 % cjelokupnog aluminija izlivenog u ekstruzijske šipke odbacuje prije dovršetka u gotov proizvod i to posljedično povećava cijenu proizvedenog profila za približno 16 %, a emisiju stakleničkih plinova i kumulativnu potražnju za energijom za približno 40 %. Većina takvog aluminijskog otpada nastaje uslijed strukturnih i površinskih nedostataka. Čak i smanjenje formiranja otpada u iznosu od 10 % prilikom postupka ekstruzije moglo bi sjevernoameričkoj ekstruzijskoj industriji uštedjeti 270–311 milijuna američkih dolara godišnje i spriječiti oslobađanje od 0,5–2,3 megatona CO₂ također na godišnjoj razini. [46]

4.2.1.1. Prednosti korištenja profila izrađenih od aluminijskih legura

Neke od prednosti korištenja aluminijskih profila za prozore i vrata su:

- Visoka dimenzijska stabilnost (koeficijent linearne toplinske rastezljivosti α iznosi $23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). [38]
- Dobra otpornost na koroziju i djelovanje brojnih kiselina (zbog oksidacijskog sloja postojani su i u vlažnim uvjetima s utjecajem morske soli).
- Dug životni vijek proizvoda (čak i preko 40 godina).
- Estetski izgledaju najbolje (pružaju jako dobar taktilni ugođaj prilikom otvaranja i zatvaranja prozora jer unatoč maloj masi zadržavaju jako dobru robusnost)
- Mogućnost izrade profila izvrsnog koeficijenta prolaza topline (u kombinaciji s troslojnim staklom i argonom između slojeva stakla postižu se odlična izolacijska svojstva)
- Otpornost na trošenje (iznimno dobra otpornost udarcima i nastajanju brazdi na površini što daje i prednost u čišćenju profila).
- Jedini pružaju mogućnost kvalitetne izrade jako širokih kliznih vrata (to im omogućuje relativno visoka granica razvlačenja jer tada ne dolazi do savijanja donje grede profila).
- Bolja sigurnosna svojstva od ostalih materijala (aluminijski profil ima najsigurnije načine osiguravanja stabilnosti u odnosu sa zidom zbog mogućnosti primjene zavarenog spoja, ali i vijčanog spoja).

4.2.1.2. Nedostatci korištenja profila izrađenih od aluminijskih legura

Ipak postoje i neke loše karakteristike aluminijskih profila:

- Najskuplja su opcija od svih ponuđenih profila (npr. najmanje dvostruko su skuplji od profila izrađenih od PVC-a)
- Cjelokupna proizvodnja je iznimno energetska zahtjevna (to je loš pokazatelj ekološke osviještenosti, iako je sam profil 100 % recikličan)

- Problemi s kondenzacijom (alumijski prozori skloni su pojavi kondenzirane vodene pare pa se prilikom završne obrade profila moraju predvidjeti rupe za kondenzat).
- Zvučna izolacija (aluminij kao materijal dobro prenosi vibracije i zvučne valove, a da bi se to spriječilo profil se mora obložiti zvučnim izolatorom što diže cijenu konačnog proizvoda).

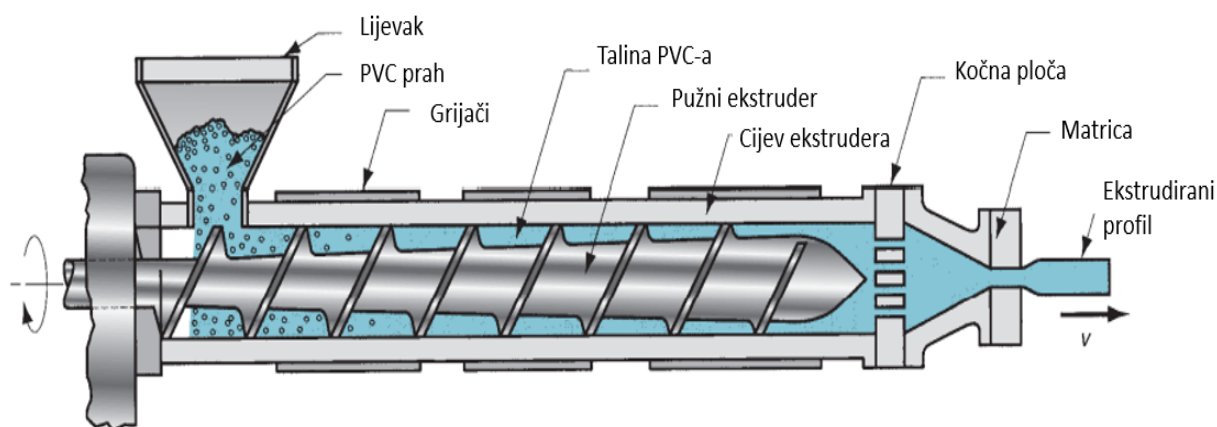
4.2.2. *Poli(vinil-klorid)*

Poli(vinil-klorid) pripada skupini masovnih, amorfnih plastomera. Sintetizira se polimerizacijama u masi, suspenziji i emulziji. Postoje dvije skupine na koje se dijeli: kruti i savitljivi poli(vinil-klorid). Kad pričamo o profilima prozora i vrata, tada se podrazumijeva da je riječ o krutom poli(vinil-kloridu). Kruti poli(vinil-klorid) posjeduje znatnu čvrstoću, veliku krutost, osjetljiv je na ureze i postaje krhak ispod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Neka od uporabnih svojstava poli(vinil-klorida) su:

- velika postojanost prema kiselinama, lužinama i organskim otapalima (osim ketona i aromata)
- dobra savitljivost
- dobro svojstvo samogasivosti
- otpornost na trošenje
- postojanost oblika
- električni izolator
- toplinska postojanost do $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ne upija vodu
- nepropustan za plinove, ali ne i za paru
- krhak pri niskim temperaturama
- mehanička svojstva općenito ovise o molekularnoj masi (veća molekularna masa – bolja svojstva).

Kruti poli(vinil-klorid) se može prerađivati svim postupcima prešanja, puhanjem, ekstrudiranjem, kalandriranjem i sinteriranjem. Konkretno, profili prozora i vrata proizvode se upravo postupkom ekstrudiranja kojeg pokazuje Slika 18. [44]



Slika 18 Prikaz ekstruzije PVC profila [47]

Ekstrudirani profil se nakon toga hladi u sredstvu za hlađenje (najčešće u vodi), izvlači se iz sredstva za hlađenje te na proizvodnoj traci odlazi na konačno rezanje u gotove komade.

4.2.2.1. Prednosti korištenja PVC profila

Prednosti uporabe PVC profila za prozore i vrata su:

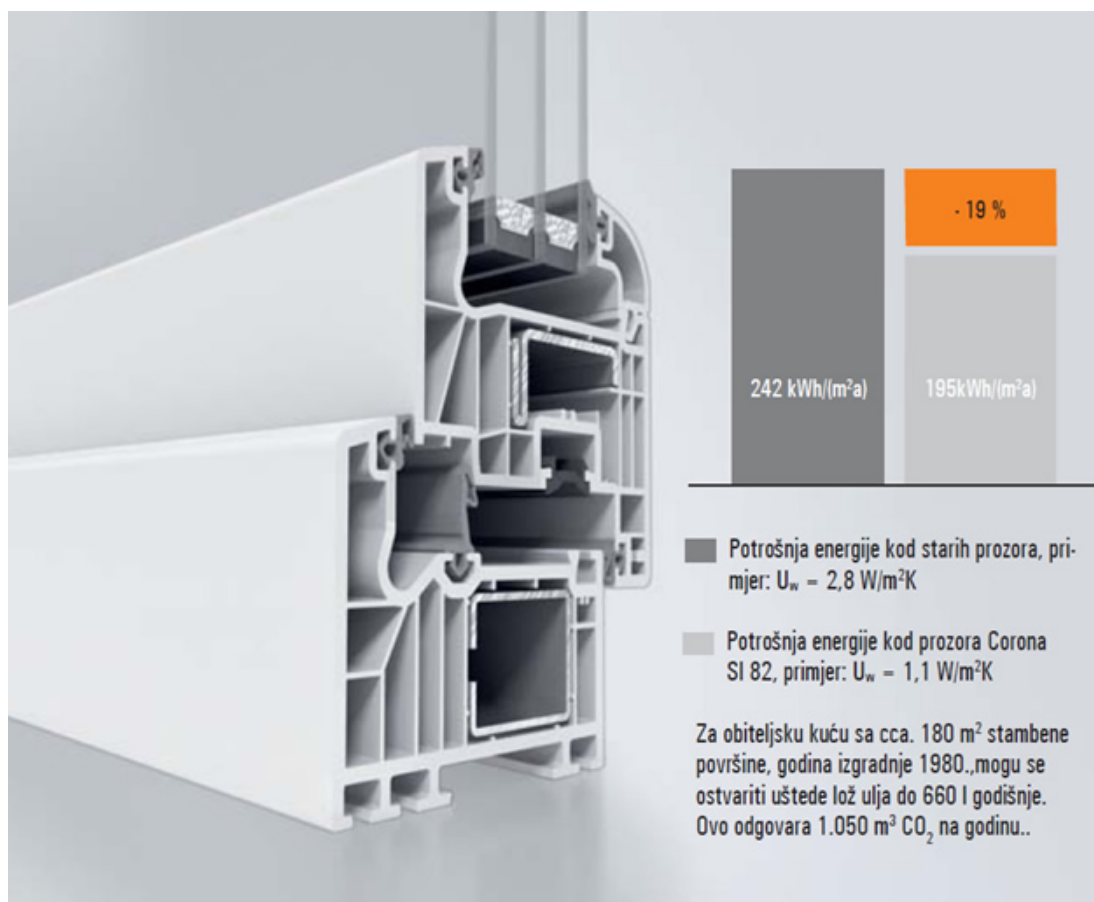
- najjeftiniji izbor
- nizak koeficijent toplinskog prolaza što daje dobra toplinska izolacijska svojstva
- lako održavanje i čišćenje
- ekološki prihvatljiva opcija s manjim zagađenjem okoliša pri proizvodnji od npr. aluminijskog profila
- profil je potpuno recikličan (čak do 8 puta)
- korozijski postojan profil u svim uvjetima

- zavarivanjem spojeni kutovi profila koji tvore prozor su otporni na djelovanje i ulazak vode
- odličan zvučni izolator
- imaju malu masu pa su jednostavniji za postavljanje u otvore zidova.

4.2.2.2. Nedostatci korištenja PVC profila

Nedostaci uporabe PVC profila za prozore i vrata su:

- u samom procesu proizvodnje troši se puno kemikalija, a to može biti opasnost za okoliš ako se ne primijeni odgovorno zbrinjavanje otpada
- vizualno nisu najbolja opcija i estetički se ne slažu s modernim dizajnom kao npr. profili izrađeni od legure aluminija
- skloni oštećenjima i zahtijevaju konstantno čišćenje
- pod utjecajem sunca pojavljuju se pukotine u profilu i značajan gubitak boje (zbog ultraljubičastog zračenja)
- u toplijim krajevima, gdje temperatura zraka preko ljeta premašuje 35 °C, PVC profili mogu brže izgubiti povoljnu krutost
- nije pogodan za jako široke profile zbog savitljivosti
- očekivan životni vijek profila iznosi 20 godina
- većina proizvođača izdaje garanciju od 10 godina na profil.



Slika 19 Uobičajeni izgled PVC profila [48]

4.2.3. Drvo

Zbog svoje niske gustoće pri relativno visokoj čvrstoći te lake obrade, drvo se kao tehnički materijal u velikoj mjeri primjenjuje u građevinarstvu. Drvo je prirodan konstrukcijski materijal koji se primjenjuje u neobrađenom stanju i mehanički obrađenom stanju. Za potrebe proizvodnje drvenih profila prozora i vrata mogu se koristiti postupci tesanja, cijepanja, piljenja, blanjanja, tokarenja, mljevenja, spajanja, tlačenja itd. Iako se u primjeni drvo nastoji zamijeniti lakim metalima, polimernim materijalima i kompozitnim materijalima, kao obnovljivi materijal i dalje zauzima značajan udio u primjeni. [44]

Sa stajališta održivog razvoja, drvo bi kao materijal, trebalo imati prednost u odnosu na aluminijske legure i poli(vinil-klorid). Nažalost, zbog sve veće sječe šuma, a sve manje zastupljenog procesa pošumljavanja, drvo je izgubilo svoju izvrsnu karakteristiku obnovljivosti. To je dovelo do velikog poskupljenja drvene sirovine, a kao posljedica

poskupljenja došlo je do zatvaranja mnogih privatnih, ali i državnih pogona koji su se bavili obradom drva. Republika Hrvatska je najbolji primjer takve situacije. Neadekvatna politika i manjak brige o državnom šumskom bogatstvu i pošumljavanju doveli su drvnu industriju do potpunog kraha. Na taj način mnoge države su izgubile važnu i ekološki potpuno prihvatljivu sirovinu s izrazitom mogućnošću obnovljivosti. Nadamo se kako će se taj trend promijeniti jer drvo, prvenstveno sa svojom lakom obradom, zasigurno može u proizvodnji profila konkurirati mnogim drugim umjetnim materijalima ili npr. aluminijskim legurama za čiju se proizvodnju koristi ogromna količina energije i tako u velikoj mjeri onečišćuje okoliš.

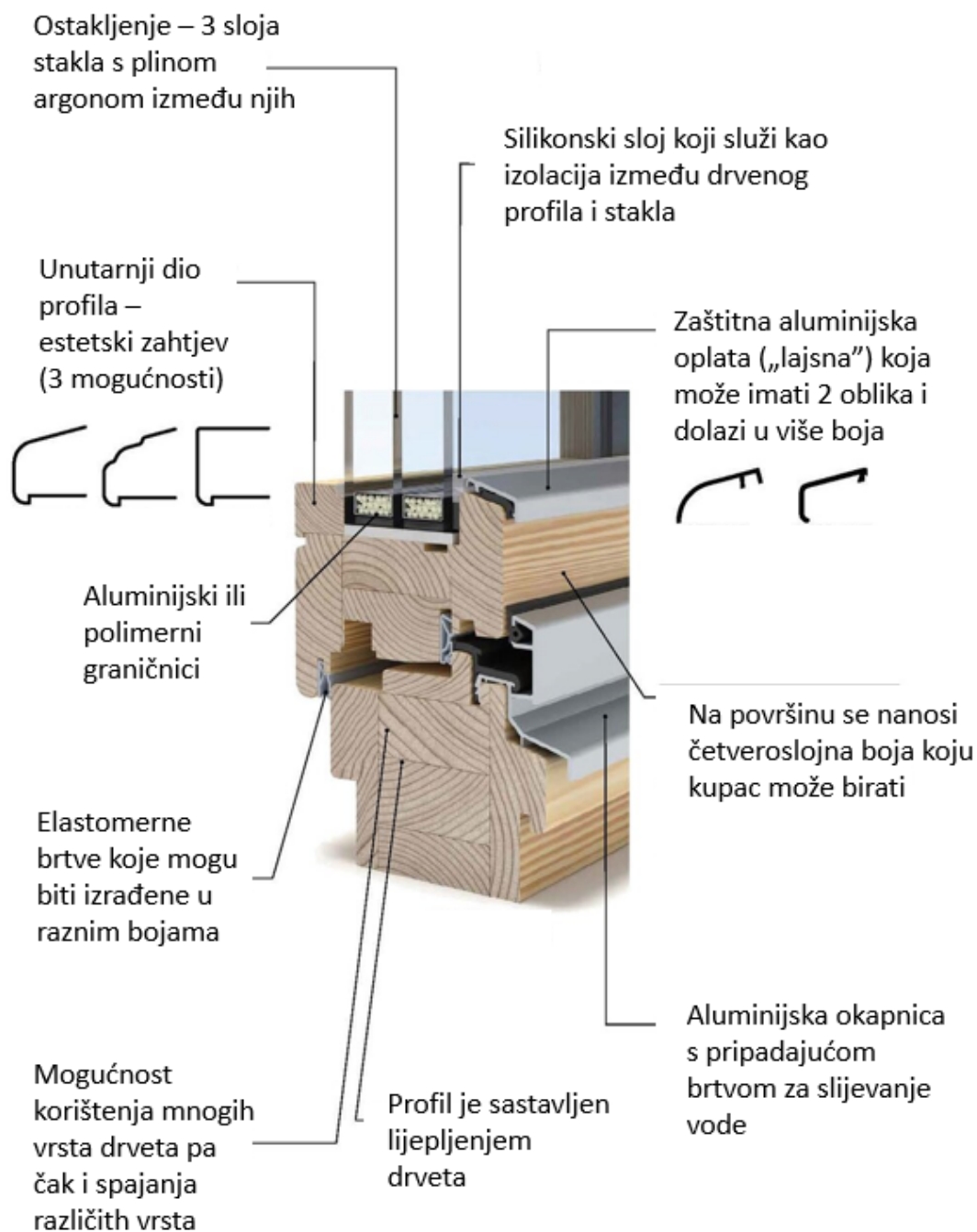
Razlikuju se tri temeljne vrste drva:

- Lišćari, tj. drvo bjelogorice (hrast, bukva, cer, brijest, grab, jasen, orah, trešnja, breza, lipa, topola, joha, vrba itd.).
- Četinari, tj. drvo crnogorice (ariš, bor, jela, smreka, tisa, čempres itd.)
- Egzotična i finija drva (mahagonij, cedar, ebanovina, palisander itd.)

Najbitnija svojstva drva su njegova gustoća i čvrstoća. Čvrstoća uvelike ovisi o smjeru vlakana. Prilikom opterećenja u smjeru vlakana postižu se najviše, a okomito na taj smjer najmanje vrijednosti vlačne čvrstoće. Čvrstoća se smanjuje povišenjem sadržaja vlage, a kod pojedinih vrsta drva vlačna čvrstoća razmjerna je gustoći. Mehanička svojstva drva vrlo su anizotropna. Drvo ima neugodno svojstvo da mijenja stupanj svoje vlažnosti u odnosu na vlažnost zraka. Ono se širi u vlažnoj okolini, a skuplja u suhoj. Drugim riječima, drvo bubri ili se skuplja ovisno o tome prima li ili otpušta vlagu, i to ovisno o smjeru. [44]

Tablica 5 Osnovna svojstva nekih vrsta drveta [44]

| Vrsta drva | Gustoća / kg m ⁻³ | Čvrstoća / N mm ⁻² | | Primjena |
|---|------------------------------|-------------------------------|------------|---------------|
| | | Tlak | Vlak | |
| lipa, jela, bor | 450 do 550 | 40 do 50 | 70 do 110 | građevno drvo |
| orah, bukva, hrast, javor | 700 do 850 | 55 do 63 | 115 do 135 | stolarija |
| ebanovina | 1230 | 105 | / | ležaji |
| kompozit na bazi fenolne smole i drveta | 1200 do 1400 | 175 | 225 | / |
| umjetno drvo, prešano drvo | 1100 do 1500 | 150 | 250 | / |



Slika 20 Profil prozora izrađen od drveta [49]

Kao što Slika 20 pokazuje, neki dijelovi drvenog prozora izrađeni su od drugog materijala. To mogu biti brtve, poklopnice, okapnice, graničnici itd. Najčešće su izrađeni od polimernog

materijala ili lakog metala što u kombinaciji s drvetom pruža jedan suvremeni dizajn pogodan za novoizgrađene, moderne objekte.

4.2.3.1. Prednosti korištenja drvenih profila

Prednosti korištenja drvenih profila:

- jako dobra toplinska izolacija jer je drvo jako slabo provodi toplinu
- otporni su na koroziju
- imaju dobru čvrstoću
- ekološki prihvatljivi te je za proizvodnju potrebno puno manje energije od konkurentskih solucija
- reciklični su
- pružaju odličnu zvučnu izolaciju
- estetično primamljivi zbog tradicionalnog stila.

4.2.3.2. Nedostatci korištenja drvenih profila

Nedostaci korištenja drvenih profila:

- jako su skupi
- potrebno je učestalo održavanje što je također skupo
- u vlažnim područjima drvo brže propada jer stalno izmjenjivanje suhoće i vlažnosti dovodi do truljenja drva
- velika mana je laka zapaljivost
- površine profila sklone su pojavi oštećenja i ogrebotina
- zbog biljnih i životinjskih štetočina treba drvo zaštititi kemijski aktivnim zaštitnim sredstvima.

4.2.4. Polimerni kompoziti ojačani staklenim vlaknima

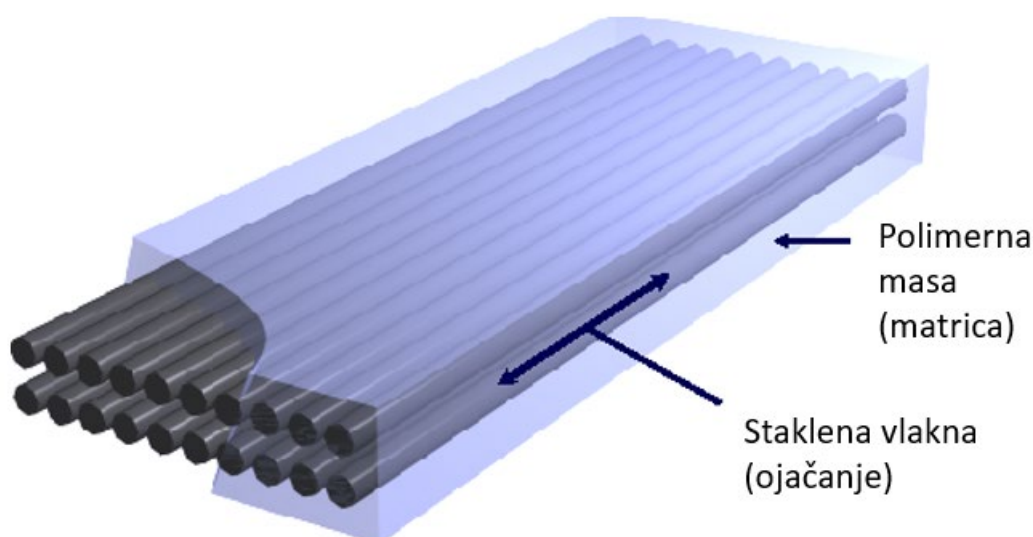
Staklenim vlaknima ojačan polimer sastoji se od staklenih vlakana, kontinuiranih ili diskontinuiranih, koja se nalaze u polimernoj matrici. Ovaj tip kompozita proizvodi se u

najvećim količinama. Staklo se može izvlačiti u vlakna (tzv. E-staklo i S-staklo) promjera od 3 μm do 20 μm , što shematski opisuje Slika 21.

Staklo je popularan materijal za ojačavanje iz nekoliko razloga:

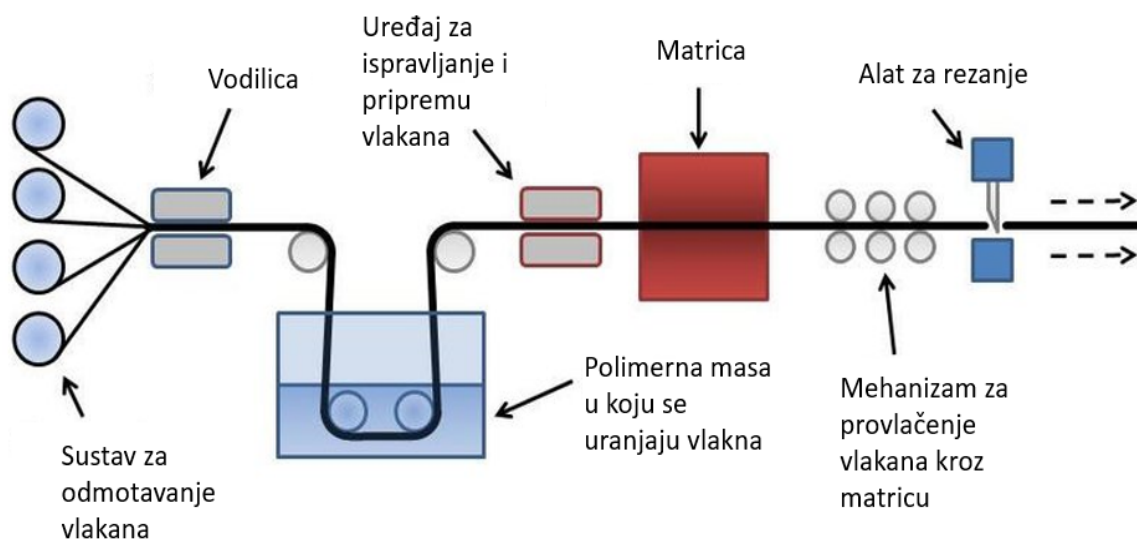
- lako ga se iz rastaljenog stanja izvlači u obliku visokočvrstih vlakana
- lako ga se dobavlja i ekonomično je
- budući da su vlakna relativno čvrsta, kada ih se ugradi u polimernu matricu, dobiva se kompozit vrlo visoke specifične čvrstoće
- kemijska inertnost pogoduje primjeni u korozivnim sredinama.

Površinske karakteristike staklenih vlakana izuzetno su važne budući da malo površinsko tečenje može štetno djelovati na svojstva pri vlačnom opterećenju. Do površinskog tečenja lako dolazi uslijed trenja ili abrazije površine nekim drugim tvrdim materijalom. Također, na površini stakla koja je izložena uobičajenoj atmosferi, čak i u kratkom vremenskom periodu, počinje se stvarati površinski sloj koji reagira s vezama između vlakna i matrice. Kod novih načina izvlačenja vlakana uobičajeno je prilikom samog procesa izvlačenja prevući vlakna tankim slojem tvari koji štiti površinu od oštećivanja i od neželjenih reakcija s okolinom. Taj sloj se obično skida prije proizvodnje kompozita i zamjenjuje se vezivom što osigurava bolje povezivanje vlakna i matrice. [44]



Slika 21 Prikaz polimernog kompozita ojačanog staklenim vlaknima [50]

Proces proizvodnje profila od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima naziva se pultruzija. Za razliku od ekstruzije, gdje se materijal utiskuje kroz matricu, pultruzija se odvija provlačenjem vlakana kroz matricu, a ta ista vlakna prethodno su uronjena u polimernu masu. Dakle, nakon što su vlakna uronjena, vlakna se odvođe na pravilan način u zagrijanu matricu, u kojoj se vrši kataliza i profil dobiva oblik ovisan o matrici. Potom stroj izvlači proizvod iz matrice te se on hladi i reže na zadanu dužinu na stanici za rezanje. Zaključno, pultruzija je kontinuirani proces, koji omogućava proizvodnju kompozitnih profila sa jednolikim presjekom i neograničenom dužinom, a upravo Slika 22 opisuje cjelokupni postupak pultruzije.



Slika 22 Proizvodnja profila pultruzijom [51]

4.2.4.1. Prednosti korištenja profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima

Povoljne karakteristike primjene profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima su:

- ekološki su prihvatljivi i potpuno reciklični
- uz aluminijske profile, jedini imaju dovoljnu čvrstoću za izradu profila vrlo velikih dimenzija
- postižu visoke vrijednosti koeficijenta toplinskog prolaza

- imaju nizak koeficijent toplinskog rastezanja
- s odgovarajućom brigom zadržavaju visoku trajnost
- vodootporni su i korozijski postojani
- daju izvrsnu zvučnu izolaciju
- imaju malu masu što uvelike olakšava montiranje
- vizualno pružaju beskrajne mogućnosti zbog jednostavnog nanošenja premaza
- moguće je izraditi izvedbu imitacije drveta.

4.2.4.2. *Nedostatci korištenja profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima*

Neka od nepovoljnih obilježja primjene profila izrađenih od polimernih kompozita ojačanih staklenim vlaknima su:

- od 20 % do 30 % veća cijena od konkurentnih materijala
- staklena vlakna uzrokuju složeniji postupak recikliranja od npr. PVC profila
- gube svojstva prilikom izlaganja sunčevom ultraljubičastom zračenju
- sklonost vidljivim ogrebotinama i oštećenjima na površini
- jako malo tvrtki bavi se proizvodnjom ovakvih profila zbog složenog postupka proizvodnje pa se dugo čeka pri njihovoj kupnji.

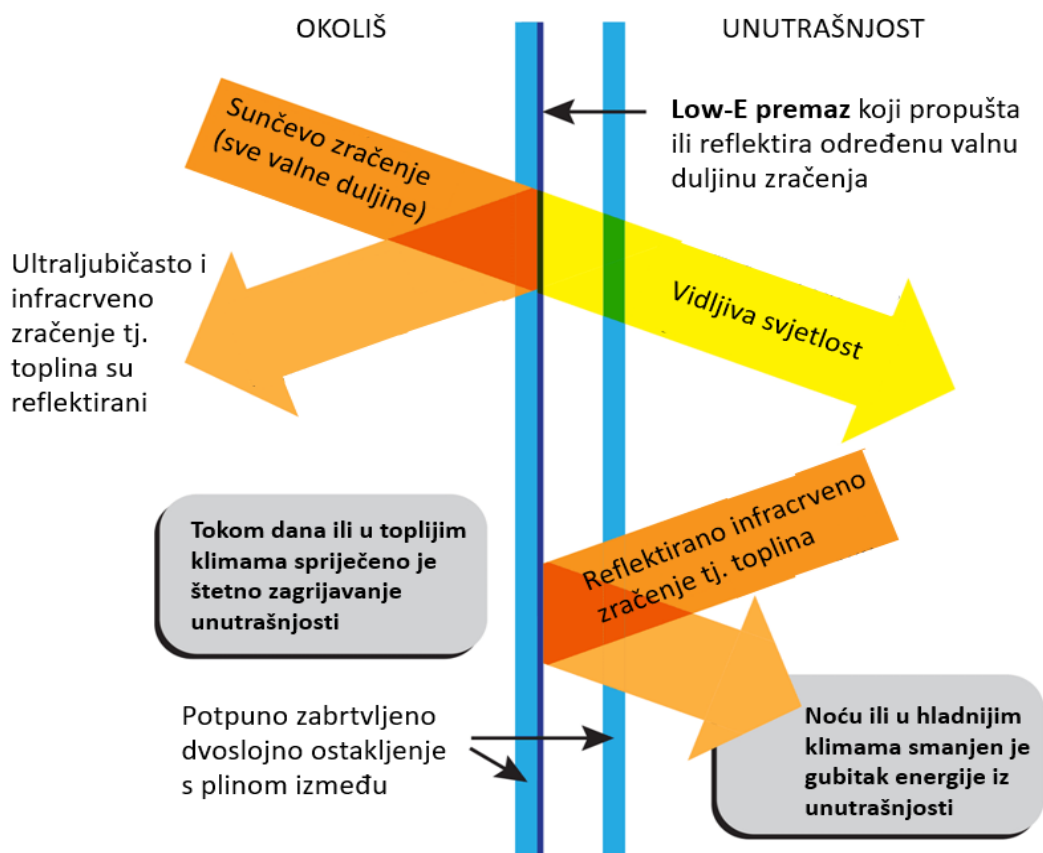
4.3. **Ostakljenje profila prozora i vrata**

Nakon opisa i svojstava većine prozorskih profila te materijala od kojih su izrađeni, pažnju treba pridodati samom ostakljenju koje je sastavni, ali i jednako važan dio prozora. Na samoj staklenoj stijenci gubi se velik dio energije što ne pogoduje održivoj izgradnji i ekološkoj osviještenosti. Prijašnjih godina nije bilo nekog značajnijeg tehničkog rješenja za taj problem, ali kako znanost i tehnika napreduju, industrija je uspjela pronaći načina da se gubitak energije

preko staklene stijenke ipak drastično smanji. Kao rješenje, nametnula se primjena stakla s niskom emisijom (engl. *low-emissivity glass*, tj. komercijalnog naziva Low-E).

U ovisnosti o načinu izrade, u profile mogu biti postavljena stakla različite kvalitete:

- Ravno staklo (odnosi se na uobičajeno staklo, čija debljina obično iznosi od 3 do 10 mm. Izborom ovakvog stakla, postižu se najslabije vrijednosti koeficijenta toplinskog prolaza).
- Niskoemisijnsko (Low-E) staklo (proizvodi se premazom unutarnje strane ravnog stakla tankim slojem srebra, kalijevog oksida ili cinkovog oksida, koji propuštaju sunčeve, ali ne i infracrvene zrake, a time se zaustavlja gubitak topline iz prostorije, čime se značajno povećava ušteda energenata u zimskom dijelu godine).
- Suvremeno niskoemisijnsko (Low-E) staklo (ima tanak protekcijski polimerni sloj na površini stakla i zbog toga, ova stakla propuštaju dostatnu količinu sunčeve svjetlosti te omogućuju izvrsnu toplinsku izolaciju uparenu s odličnim koeficijentom toplinskog prolaza što u jako puno doprinosi uštedi energenata u zimskom i ljetnom razdoblju u usporedbi s drugim vrstama stakala).
- Laminirano staklo (nastaje procesom lijepljenja više staklenih stijenki ljepljivim slojem ili smolom, a ako dođe do pucanja staklo se neće raspršiti, nego će zbog vezivnog sredstva ostati ispucano, ali ipak povezano što pridonosi visokom faktoru zaštite i sigurnosti).



Slika 23 Niskoemisijско (Low-E) staklo [52]

4.4. Budućnost profila za prozore i vrata u održivom razvoju

Kao što je već spomenuto, postoje značajne razlike prilikom proizvodnje profila različitih materijala. Prvenstveno se to odnosi na ekološke značajke. Dobivanje aluminija i njegovih legura Bayerovim postupkom je sam za sebe jedan jako energetski zahtjevan i složen proces koji zagađuje okoliš u velikoj mjeri. Daljnja prerada takvog materijala u profile samo povećava nepotrebnu emisiju stakleničkih plinova i energije što je u današnjem svijetu nedopustivo. Nadalje, proizvodnja proizvoda od poli(vinil-klorida) također šteti okolišu zbog upotrebe brojnih kemikalija, ali ipak u manjoj mjeri od proizvodnje aluminijskih proizvoda. Kao ekološki najbolji materijal izdvaja se drvo. Drvo je, kao prirodan materijal, nepresušan izvor sirovine pod uvjetom održivog razvoja. Postupkom konstantnog pošumljavanja došlo bi do značajnog smanjenja onečišćenja jer bi se drvo počelo sve više koristiti u proizvodnji svih proizvoda pa tako i profila za prozore i vrata. Nažalost, na globalnoj razini malo toga se poduzima po pitanju reforestacije. Svjetske zalihe šuma sve su manje, cijena drva raste i ono

postaje neprofitabilna sirovina u proizvodnji. Tržište je većinom bazirano na prodaji PVC profila prozora i vrata jer su najjeftiniji, a pružaju dobre koeficijente toplinskog prolaza i dugotrajnost. U budućnosti, taj trend svakako se mora promijeniti na bolje zbog cjelokupne ekološke dobrobiti. S modernim troslojnim ostakljenjima koja čuvaju toplinu unutrašnjih prostorija u kombinaciji s drvenim profilima svakako se može napraviti značajna razlika jer tako bi se prilikom proizvodnje drastično smanjilo zagađenje okoliša, a istovremeno zgrade bi dobile odlično rješenje i poboljšanje u pogledu toplinske i zvučne izolacije prozora i vrata.

Kao dobar primjer, dvoje mladih znanstvenika provelo je istraživanje u kojem su pratili procese proizvodnje aluminijskih, PVC i drvenih profila prozora i vrata. Skup podataka uključuje visoko automatizirane procese proizvodnje profila u Njemačkoj i Švicarskoj. Kao glavnim pokazateljem, koristili su se ugljičnim otiskom. Ugljični otisak mjera je količine emisija stakleničkih plinova koju izravno ili neizravno uzrokuje neka osoba, proizvod, tvrtka ili događaj, a obično se naziva i potencijalom globalnog zatopljenja. Što je veći ugljični otisak, veće je i zagađenje. Među profilima koji su proučavani za slična toplinska svojstva, aluminij ima najveći utjecaj na okoliš. To je zbog energetske opsežnih proizvodnih postupaka i zagađivača koji nastaju kao rezultat tih istih postupaka. Drveni prozorski profili pokazali su se ekološki najboljom opcijom jer obrada i proizvodnja drvenih okvira nije energetska zahtjevnija kao kod ostalih materijala. [53]

Tablica 6 Ugljični otisak aluminijskog, PVC i drvenog prozorskog profila s 1 m² staklene površine [53]

| Materijal od kojeg je izrađen profil | Ugljični otisak / kg |
|--------------------------------------|----------------------|
| aluminij | 486 |
| PVC | 258 |
| drvo | 130 |

5. ZAKLJUČAK

Održivi razvoj, kao proces koji se odnosi na fokusiranje poboljšavanja ljudskih potreba uz prepoznavanje i poštivanje biofizičkih osnova za te potrebe, jedan je od najbitnijih koraka kojima se približavamo ekološki postojanom i sigurnom svijetu. Sedamnaest Ciljeva održivog razvoja, koje su razvili Ujedinjeni narodi kroz projekt Agenda 30, svakako su nadahnjujući i neiscrpan izvor poboljšavanja standarda života svih ljudi i očuvanja okoliša. Građevinarstvo i građevinska industrija aktivno utječe na devet Ciljeva održivog razvoja. Stoga, putem zelenog zgradarstva, tj. izgradnjom građevinskih objekata niske ili nulte emisije energije, može se puno toga učiniti kako bi se okoliš sačuvao, a dragocjeni prirodni resursi obnovili. Konstantnim razvojem znanosti i znanstvenih ispitivanja, stručnjaci su diljem svijeta opisali načine gubitaka energije u zgradama. To je omogućilo napredak u vidu poboljšanja izolacijskih svojstava, ekonomičnije upotrebe energije i svih vrsta resursa, razvoja novih tehnologija obnovljive energije te kolektivne svijesti da se i najmanjim uštedama u kućanstvima može drastično unaprijediti ekološka slika. Gubitke energije preko profila prozora i vrata te njihovog ostakljenja možemo promatrati kao zasebnu pojavu koja uvelike pridonosi ukupnom ekološkom onečišćenju i financijskim troškovima održavanja. U posljednjih nekoliko desetljeća vidi se značajan napredak po pitanju tog problema, primarno zbog tehnološkog razvoja u području proizvodnje profila prozora i vrata te materijala koji se u tom procesu koriste. Trenutno se, kao materijal u proizvodnji prozorskih profila, najviše koriste aluminijske legure i PVC, unatoč tome što se u cjelokupnom postupku njihove proizvodnje okoliš zagađuje više nego pri proizvodnji i korištenju drvenih profila. Razlog tome je manja cijena proizvoda i veća dugotrajnost u odnosu na drvene profile. U bližoj budućnosti takav trend će se vrlo vjerojatno i nastaviti, ali industrija će morati tražiti dugoročno rješenje u drvu kao sirovini za izradu profila prozora i vrata. Obrada drva je jako jednostavna, a energetska trošak prilikom proizvodnje daleko je manji od ostalih konkurentnih materijala. Problem je u cijeni drvne sirovine jer većina država uopće ne provodi proces pošumljavanja pa smo iz godine u godinu suočeni s deficitom drvnih zaliha. To se mora promijeniti jer drvo bi trebalo biti neiscrpan prirodni materijal koji je ujedno recikličan i ekološki prihvatljiv. Naravno, postoji još niz mogućnosti u poboljšanju energetske učinkovitosti izgrađenih zgrada i izgradnji novih zelenih zgrada s niskom emisijom energije, a mi, kao potrošači, moramo postati ekološki odgovorni i

štedjeti energiju i resurse svakodnevno. Jedino na taj način možemo budućim generacijama olakšati njihov boravak i kvalitetu života na ovoj planeti.

LITERATURA

- [1] Agenda 2030, <https://sdgs.un.org/2030agenda> (29.1.2022.)
- [2] Zeleno zgradarstvo u promicanju Ciljeva održivog razvoja, <https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals> (29.1.2022.)
- [3] Što su Ciljevi održivog razvoja?, <http://ideje.hr/17-globalnih-ciljeva-poslovni-ih-lideri-ne-mogu-ostvariti-sami/> (10.2.2022.)
- [4] Definicija zelene zgrade, <https://www.worldgbc.org/what-green-building> (30.1.2022.)
- [5] Bonnedahl K. J., Heikkurinen P., Paavola J.: Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action. *Environmental science and policy* 129 (2022) 150-1
- [6] 2018 Global status report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, International Energy Agency ; United Nations Environment Programme (2018), <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27140> (30.1.2022.)
- [7] Casamayor, Su: Integration of eco-design tools into the development of eco-lighting products. *Journal of Cleaner Production*. 47: 32-42, 2013
- [8] Vasile, Petran, Dima, Petcu: Indoor air quality – a key element of the energy performance of the buildings. Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 5-7 listopad 2016., Tallinn i Helsinki
- [9] Energetski krug u Shenzhenu, <https://www.shl.dk/shenzhen-east-waste-to-energy-plant/> (1.2.2022.)
- [10] Izvještaj: Zeleno zgradarstvo u Kanadi – Kanadsko vijeće za zelenu gradnju i Delphi grupa: https://www.cagbc.org//cagbcdocs/advocacy/Green_Building_in_Canada_CaGB_C_and_Delphi_Report_Executive_Summary.pdf, (2.2.2022.).
- [11] Wilberforce T., Olabi A.G., Sayed E.T., Elsaid K., Maghrabie H.M., Abdelkareem M.A.: A review on zero energy buildings – Pros and cons, *Energy and Built Environment*, 2021.
- [12] Ahmad P, Misni A, Kamaruddin S, Daud N: Green Neighbourhood Adaptive Model for Urban Living: A Conceptual Review. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 2017.

- [13] 6 eko-čtvrtni koje možete pronaći u Europi, <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/6-eco-neighbourhoods-to-discover-in-europe/>, (2.2.2022.).
- [14] Bo01, Västra Hamnen, Malmö, Sweden, <https://www.flickr.com/photos/pixas/264099868> (3.2.2022.)
- [15] Reciklibilni građevinski materijali, <https://www.ny-engineers.com/blog/recycling-construction-materials>, (3.2.2022.)
- [16] Belussi L, Barozzi B, Bellazzi A, Danza L, Devitofrancesco A, Fanciulli C, Ghellere M, Guazzi G, Meroni I, Salamone F, Scamoni F, Scrosati C: A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. *J. Build. Eng.*, 25 (2019), Article 100772
- [17] Morel J.C, Mesbah A, Oggero M, Walker P: Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction, *Building and Environment*, Volume 36, Issue 10, str. 1119-1126 (2001)
- [18] Xu M: Impacts of Building Geometries and Radiation Properties on Urban Thermal Environment, *Procedia Computer Science*, Volume 108, str. 2517-2521 (2017)
- [19] Bagić Ljubičić J, Prelovšek Peroš S, Milotić B: Otkrivamo fiziku 8. Zagreb: Školska knjiga; 2020.
- [20] Lamb D: Reforestation, *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)*, Academic Press, str. 370-379 (2013)
- [21] Pod izrađen od recikliranog drvnog materijala, <http://www.barnstormerswood.com/popular-reclaimed-wood-flooring-options/> (3.2.2022.)
- [22] Vodećih 10 država po stopi pošumljavanja, <https://www.sciencefocus.com/nature/top-10-countries-growing-forest-area/> (3.2.2022.)
- [23] Corraide da Silva L.C, Oliveira Filho D, Rossi Silva I, Vargas e Pinto A.C, Nogueira Vaz P: Water sustainability potential in a university building – Case study, *Sustainable Cities and Society*, Volume 47 (2019)
- [24] 25 načina za štednju vode, <https://www.volusia.org/services/growth-and-resource-management/environmental-management/natural-resources/water-conservation/25-ways-to-save-water.stml> (4.2.2022.)

- [25] Miješalica za umivaonik marke Hansgrohe, <https://www.hansgrohe.hr/articledetail-vernishblend-elektronska-mijesalica-za-umivaonik-s-unaprijed-postavljenom-regulacijom-temperature-uz-pomoc-baterije-71502000#gallery-article-detail-page:slide0> (6.2.2022.)
- [26] Struktura potrošnje vode u kućanstvu, <http://thoriumaplus.com/struktura-potrosnje-vode-u-kucanstvu/> (5.2.2022.)
- [27] Iwano J, Mwasha A: The impact of sustainable building envelope design on building sustainability using Integrated Performance Model, International Journal of Sustainable Built Environment, Volume 2, Issue 2, str. 153-171 (2013)
- [28] Energetska učinkovitost zgrada, <https://rijekaesco.wordpress.com/energetska-ucinkovitost/> (8.2.2022.)
- [29] Zhao D: Analysis on building energy saving roofing technology, Sci. Technol. Innov. (10), str. 257 (2017)
- [30] Toplinska izolacija masivne krovne konstrukcije, <https://webgradnja.hr/clanci/toplinska-izolacija-krova-ili-stropa-prema-negrijanom-tavanu/716> (7.2.2022.)
- [31] Ugai T: Evaluation of Sustainable Roof from Various Aspects and Benefits of Agriculture Roofing in Urban Core, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 216, str. 850-860 (2016)
- [32] Prijenos topline zelenog krova, <https://www.greenroofs.com/2019/04/25/green-roof-energy-series-part-1-the-essentials-heat-transfer-by-layer/> (7.2.2022.)
- [33] D'orazio M, Di Perna C, Di Giuseppe E: Green roofs as passive cooling strategies under temperate climates, 2012.
- [34] Izolacija vanjskog zida, <https://www.insulationsuperstore.co.uk/help-and-advice/project-guides/insulation/how-to-install-external-wall-insulation/attachment/external-wall-insulation-diagram/> (6.2.2022.)
- [35] Primjena ploča od ekstrudiranog polistirena komercijalnog naziva stirodur, <https://www.isover.hr/xps> (8.2.2022.)
- [36] Kisilewicz T, Fedorczyk-Cisak M, Barkanyi T: Active thermal insulation as an element limiting heat loss through external walls, Energy and Buildings, Volume 205 (2019)
- [37] Infracrveni prikaz smanjenog gubitka energije nakon postavljanja profila prozora boljih izolacijskih svojstava, <http://www.belfastsashwindows.com/thermal-insulation.html> (9.2.2022.)

- [38] Halasz B. Uvod u termodinamiku. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2015.
- [39] Omjer površina prozora i zidova <http://mundobim.com/construpm/edge-green-buildings-whats-window-to-wall-ratio/> (9.2.2022.)
- [40] Kim S, Zadeh P.A, Staub-French S, Froese T, Cavka B.T: Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM, Procedia Engineering, Volume 145, str. 1424-1431 (2016)
- [41] Filetin T. Izbor materijala pri razvoju proizvoda. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2013.
- [42] Izum i povijest prozora <https://www.4feldco.com/articles/who-invented-the-window/> (9.2.2022.)
- [43] Aluminijski profil marke Schüco <https://www.schueco.com/de-en/home-owners/windows/aluminium-windows> (9.2.2022.)
- [44] Filetin T., Kovačiček F., Indof J. Svojstva i primjena materijala. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2013.
- [45] Proces vruće ekstruzije aluminija https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=aluminum_extrusion (10.2.2022.)
- [46] Oberhausen G, Zhu Y, Cooper D.R: Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion, Resources, Conservation and Recycling, Volume 179 (2022.)
- [47] Proces ekstruzije PVC profila <https://mechanicalbase.com/all-aspects-of-plastic-extrusion-process-equipments-dies-design-calculations/> (13.2.2022.)
- [48] Uobičajeni izgled PVC profila <http://omisplast.hr/prozori-pvc/> (13.2.2022.)
- [49] Profil prozora izrađen od drveta <https://www.scenicwindowcompany.com/woodenwindow> (14.2.2022.)
- [50] Prikaz polimernog kompozita ojačanog staklenim vlaknima <https://www.semanticscholar.org/paper/Fiber-Reinforced-Polymer-Composites-for-Research-to-Nanni/d603b62e432b8618d779ed0c248834592825492c> (14.2.2022.)
- [51] Haghani, Reza, Yang, Jincheng: Application of FRP materials for construction of culvert road bridges--manufacturing and life-cycle cost analysis. (2016)
- [52] Niskoemisijsko (Low-E) staklo <https://www.championwindow.com/window-buyers-guide/what-is-low-e-glass/> (15.2.2022.)
- [53] Sinha A, Kutnar A: Carbon Footprint versus Performance of Aluminum, Plastic, and Wood Window Frames from Cradle to Gate. Buildings. (2012); 2(4):542-553

PRILOZI

I. Optički disk